有趣的世界（图灵新知11册）

含《汽车是怎样跑起来的》
《思考的乐趣:Matrix67数学笔记》等



目　录

有趣的世界（图灵新知11册）（含《汽车是怎样跑起来的》、《思考的乐趣：Matrix67数学笔记》等）

图灵新知

人民邮电出版社

北京

版权信息

书名：有趣的世界（图灵新知11册）（含《汽车是怎样跑起来的》、《思考的乐趣：Matrix67数学笔记》等）

作者：图灵新知

汽车是怎样跑起来的

［日］御堀直嗣　著

前言

汽车为什么会跑？汽车会跑与人会走路一样，都是日常生活中再普通不过的事情了。正因如此，一旦被问及原因，反而不知该如何回答。在此之前，我虽写过解释汽车结构及汽车专业术语的书，但第一次面对“汽车为什么会跑”这个主题时，我还真有些不知所措呢。

从零开始讲解汽车的结构，需要花费很长时间。并且，各种新技术层出不穷，也迫使我们不得不重新认识汽车的行驶原理。多问几个“为什么”，我们就能感受到汽车的伟大和珍贵。

人们常说年轻人不懂汽车，我却觉得，其实大部分成年人都不懂汽车，原因之一就是他们对本书的主题——“汽车为什么会跑”不感兴趣，甚至根本不在乎。

他们认为无需对这个问题追根究底，只要汽车能打着火能跑就可以了，因为汽车生产商为提高汽车性能，增加其便利性，减少故障，已然倾尽了全力。说到这里，我想有必要谈一下技术开发的目的到底是什么，这是一个根本性的问题。

目前，对汽车安全性能的重视导致汽车越发笨重，不仅费油，前方视野也日趋狭窄，反而更容易引发交通事故。并且，由于汽车体积与碰撞能量成正比，因此需要开发出体积更大的车来确保安全。静下心来想一想，最初，这些旨在开发高性能汽车的生产商究竟是为什么而努力的呢？汽车的发展已逐渐偏离了人们的初衷。

阅读本书，你就能理解“汽车为什么会跑”这一基础性、根本性的问题，你将重新认识汽车的价值，或许还能对汽车的安全性有更深入的思考。

1886年，德国人卡尔•本茨[1]制造了第一辆以汽油为动力的汽车，并获得了专利，由此拉开了汽车生产的序幕。在之后的120多年里，汽车产业始终是发达国家的主要产业及支柱产业，相信未来也会不断发展。因此，我认为现在讨论“汽车为什么会跑”这一深刻问题是非常有意义的。

在本书中，我会从最基础的结构开始，为大家介绍汽车的行驶原理。因为讲述的是基本原理，所以有些内容未必是最新的。但是，如果你读懂了这本书，只要把新技术看作是它的延伸便能轻松理解。本书的最后，我会介绍现在大家津津乐道的电动汽车和混合动力汽车。

现在就请打开车门，坐到驾驶座上吧。

2009年7月

御堀直嗣

本书的结构

本书由两部分共9章构成，第1部分包括第2章～第7章，第2部分包括第8章～第9章。每章内容由热身问答、本章重点、本章看点、正文以及专栏组成。

●热身问答

每章开头都有一个简单的问答，内容与该章的主题有关。因此，请在阅读正文前小试牛刀。

●本章重点

这部分是正文内容的总括，可以让读者粗略了解本章内容。

●本章看点

这部分分条罗列了正文内容，可以让读者了解讲解的顺序。

●正文

在这部分中，我将把驾驶员转动钥匙启动发动机、踩下加速踏板发动汽车等日常驾驶操作与汽车内部结构的运转相关联，一一进行详细的介绍。汽车的结构和零件比较复杂，但本书使用了大量插图，因此简洁易懂。

●专栏“汽车辟谣”

这部分选取了与汽车结构相关的话题为汽车辟谣。通过汽车杂志的年轻记者与其上司之间的对话，揭开谣言背后的真相。

第1章 汽车的五大要素

热身问答

阅读正文前，让我们先回答下面的问题来热热身吧。

问题

汽车大约由多少个零件组成?

1.约2000个

2.约2万个

3.约20万个

答案

2.约2万个

解析

通常认为汽车由大约2万个零件组成，其中铁制零件占绝大多数。虽然统称为铁，但构成车体框架的车架和塑造整体车型的车身部分使用的是钢板，变速器等箱体部分使用的是将铁熔化并注入模具做成的铸件。

此外，发动机和悬架使用铝，布线使用铜等金属，净化废气的催化剂使用白金等贵金属。

再看一下汽车内部，使用较多的是合成树脂（plastic）。合成树脂通常是以石油为原料，通过人工化学合成。近年来也使用一些以植物为原料、可再生的生物塑料。木质内饰使用原木（如红木等）和胶合板，座椅使用化学纤维、真皮和人造革。与普通房屋的窗玻璃不同，车窗玻璃即使受到撞击也很难破裂。即使破裂，其碎片也不锋利，很难伤到人。

轮胎由橡胶制成，这种橡胶由以石油为原料的化学合成橡胶和取自橡胶树的天然橡胶混合而成。在橡胶内侧加入化学合成纤维和钢丝，就构成了轮胎的框架。

这些常见的零件，再加上所有的螺丝钉，大概有2万件之多。

本章重点

汽车由发动机、变速器和制动器（即刹车）等相互独立、数量众多的装置组合而成。了解这些装置极为重要。汽车生产商们也致力于这些装置的改进，但是，仅关注每个装置的结构和功能，有可能无法理解这一装置在汽车整体中的作用。因此，为了能让大家先形成对汽车的整体印象，在第1章里，我将有条理地为大家说明汽车的要素和顺序。

从第2章开始，我将逐一详细介绍汽车的装置。随着阅读的深入，你可能会无法理解每个装置之间的关系，这时可以返回第1章寻找答案，同时请回想一下汽车行驶时的整体状态。第1章是基础章节，请大家务必反复阅读。

本章看点

（1）汽车的五大要素

介绍汽车的五大要素。好汽车都很好地实现了这五大要素的平衡。

（2）使汽车运转的物理原理

汽车很好地利用了基础物理原理。我将列举身边的例子来探究汽车

和物理之间的关系。

（3）汽车行驶、转向直至停车的过程

介绍汽车行驶、转向，直至停车的大体顺序，方便大家形成对汽车的整体印象。

1.1 汽车的五大要素

1.1.1 行驶、转向和停车

一直以来，汽车厂商不断追求高性能，以优化汽车行驶、转向、停车三方面的体验。从19世纪德国人卡尔·本茨发明了世界上第一辆汽车以来，人们一直在设法改进行驶、转向和停车的机制。可以说，汽车发展的历史，就是以上三方面性能不断优化的过程。

赛车运动也源于汽车的发展，赛车中优胜的荣耀正来源于一种追求——对汽车行驶、转向和停车性能的不断改进。例如，今天的F1赛车[2]仍在探寻如何跑得更快，如何更加顺畅地转向，必要时刻如何及时停车。并且，全世界都在关注他们在汽车性能方面的竞争。

提高了行驶、转向和停车的性能之后，人们开始期待汽车变得更加舒适，并且开始注重其安全性。无法保证安全性能的汽车随时可能发生事故、产生故障，肯定不会舒适。舒适性和安全性是相辅相成的。

进入20世纪后，出现了专为寻常百姓制造的福特T型车，从此，舒适性和安全性开始受到人们的关注。要想普及汽车，舒适性和安全性是不可或缺的两大要素。在此之前，汽车只是用于满足一部分人的好奇心和冒险心的交通工具，直到20世纪初，汽车还处于萌芽期，人们关注的还只是行驶、转向、停车等基本要素。

从少数人的猎奇品到寻常百姓的交通工具，在汽车的发展过程中，舒适性和安全性逐渐成为重要因素。行驶、转向和停车这三大要素，加上舒适性和安全性，构成了汽车的五大要素（图1.1）。无论是由发动

机驱动的汽车，还是由发动机和电力共同驱动的混合动力汽车以及电动汽车等新型汽车，都具备这五大要素。



图1.1 汽车的五大要素

1.1.2 五大要素密切协作

汽车的五大要素是密切相关的，舒适、安全的汽车应该会很好地实现行驶、转向、停车这三个基本要素。

能够紧贴地面行驶，加速、转向顺畅，停车及时的汽车肯定是舒适

的。例如，汽车不会随着道路的起伏而上下颠簸。又或者，如果汽车的方向盘足够灵敏，汽车就能够在紧急时刻迅速转向，避免摩擦和碰撞。

如果汽车的制动系统随时都能够正常工作，即使在关键时刻踩下制动踏板紧急刹车，轮胎也应该不会打滑。制动系统使汽车及时停下，或至少能够充分减速，减轻碰撞的冲击。

因此，汽车的五大要素不是各自独立的，而是互相影响。其中的任何一个都无法独揽大局。没有性能短板、整体运转协调的汽车才称得上是真正的好车。

说句题外话，以上所述也是选车的关键。汽车的某一个性能突出，可能意味着其他方面存在缺陷。反之，各方面性能较为平衡的汽车，才能使人们感受到持续的满足和快乐。

1.2 使汽车发动的物理原理

1.2.1 汽车因热而动、因热而停

为了实现这五大要素，一台汽车需要由大约2万个零件组成。搭载着复杂的装置，通过各装置间的密切协作，汽车才能行驶、转向和停车。在详细讲解各个装置之前，我想先谈一谈我常常思考的“汽车究竟是什么”这一问题。

汽车是与物理密切相关的交通工具。说到这儿，大家可能会排斥道：“讲什么物理呀？我又不是理科生。”先别急。虽说汽车行驶遵循的是物理原理，但我会以日常生活中谁都会经历的事情为例来解释。我讲的这些连孩子们都懂，所以不要搞得像是在学校学习课本一样。

首先，我常常觉得“汽车因热而动、因热而停”是一件很有意思的事情。转动汽车钥匙，首先会启动发动机。这里我先简单介绍一下发动机的结构（图1.2）。

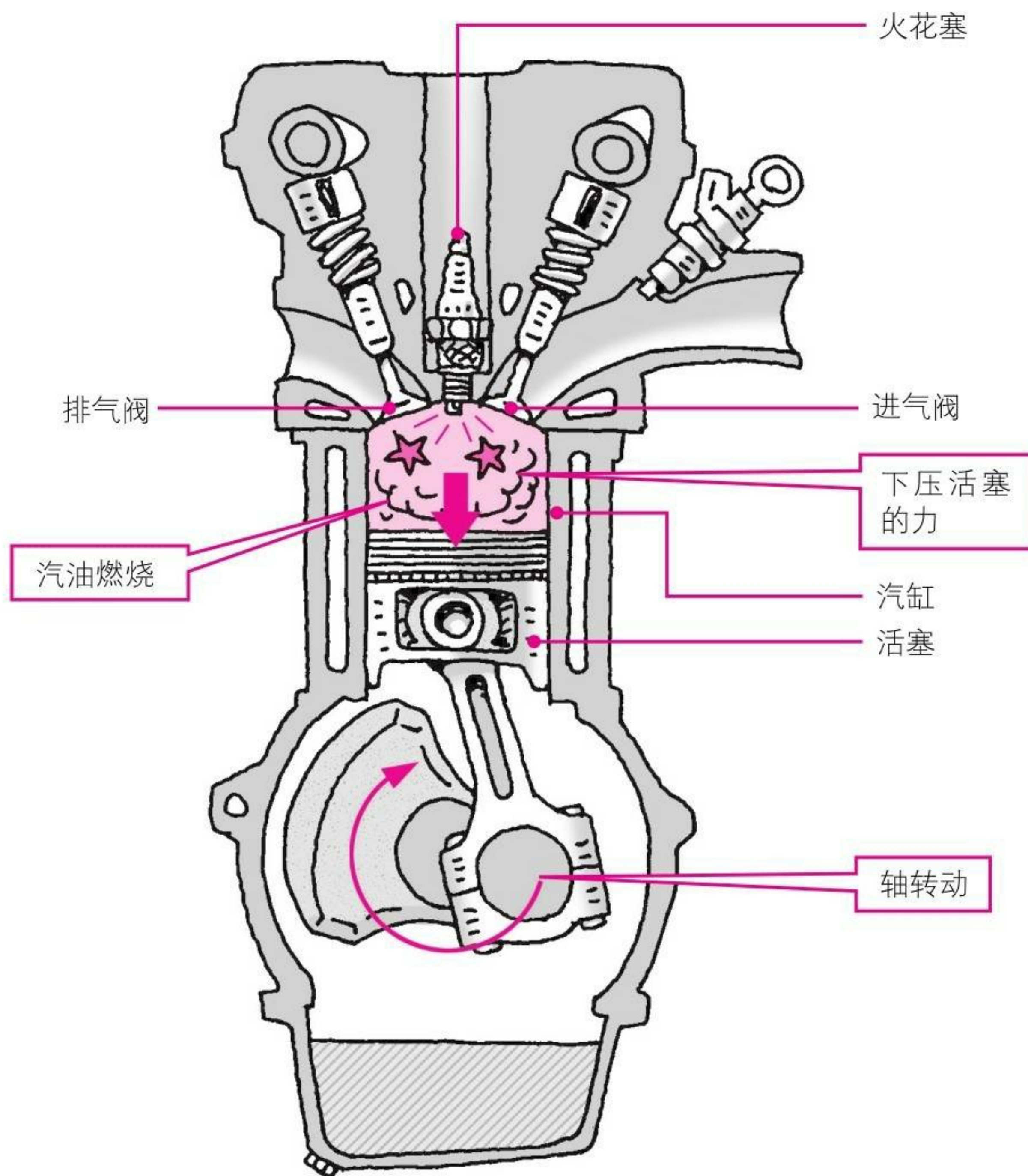


图1.2 发动机的结构

由汽缸和活塞组成，燃烧汽油和空气混合而成的混合气体，利用混合气体的膨胀产生旋转力。

发动机中有汽缸 和活塞 ，汽油在汽缸中的燃烧室内进行燃烧。由

汽油和空气混合而成的混合气体被送入燃烧室内，燃烧发热后膨胀。

气体（混合气体）膨胀下压活塞，从而带动活塞下的轴转动。发动机输出的旋转力传递到轮胎，使轮胎转动。这样一来，汽车便“因热而动”了。

那么停车时又是怎样的呢？是用制动器使轮胎停止转动的。制动时，制动垫 夹住与轮胎一起转动的制动盘 。接着，盘和垫之间就会产生摩擦，摩擦产生热量（图1.3）。

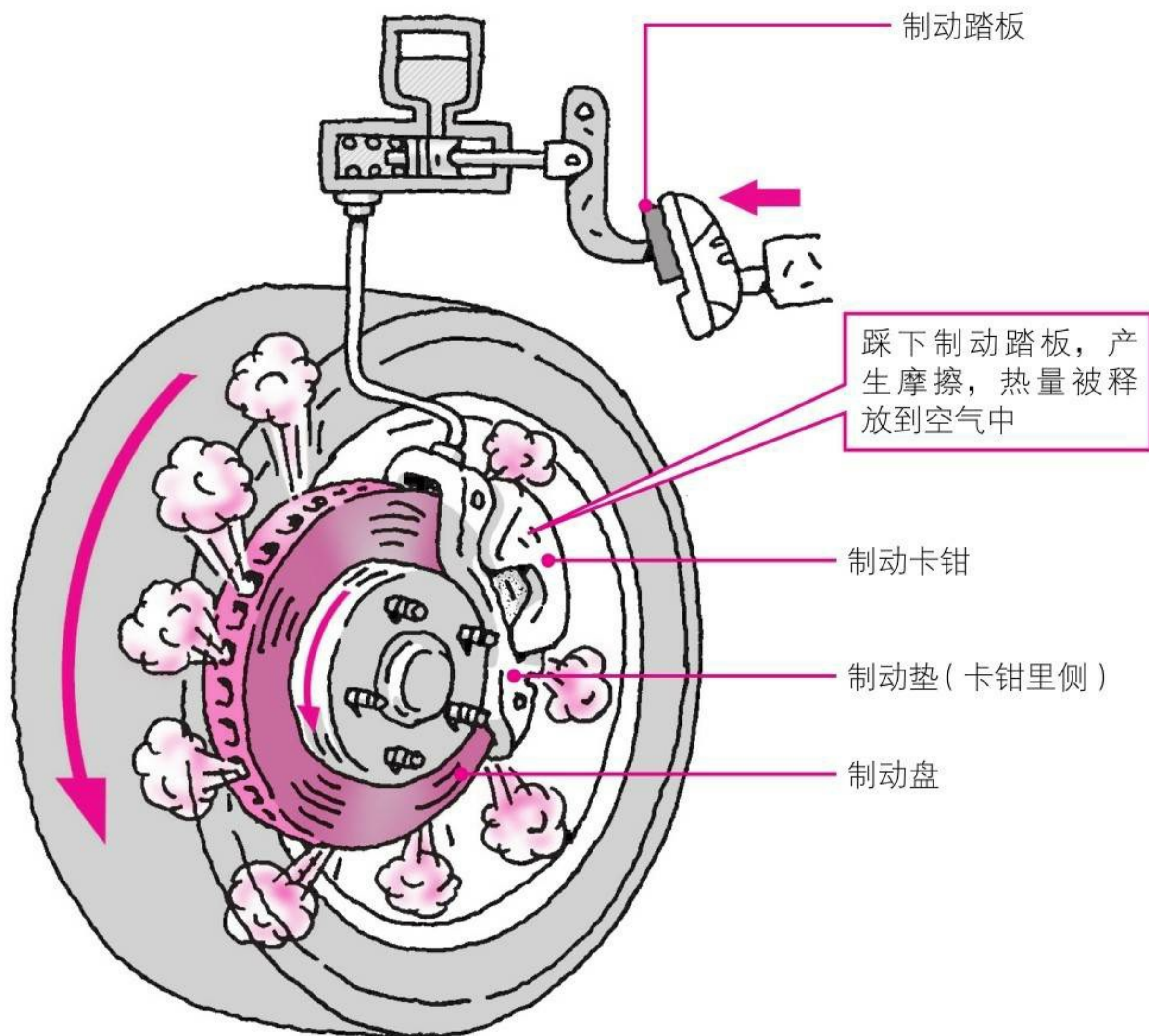


图1.3 制动器将摩擦热释放到空气中，汽车停止行驶

踩下制动踏板，附着在制动卡钳里侧的制动垫夹住与轮胎一起转动的制动盘。两者摩擦产生热量，进而被释放到空气中。

这与天冷的时候摩擦双手就会暖和是一样的道理，因为双手摩擦会产生热量。制动盘与制动垫相互摩擦，生成的热量被释放到空气中。

这样一来，通过将旋转轮胎转化成的热量释放到空气中，使汽车减速直至停止。不只是汽车，自行车等的制动原理也是一样，即“因热而停”。

汽车的确是“因热而动、因热而停”的交通工具，是通过反复进行热

交换来实现行驶和停车的。电动汽车等不使用发动机的汽车不是因热而动，但与发动机汽车一样，是“因热而停”。

1.2.2 轮胎也受“热”的影响

具备行驶、转向、停车这三大要素的汽车，其轮胎也与“热”有着密切的联系。轮胎是汽车与路面的唯一接触点，是解释“热”对汽车的重要性的关键所在。

轮胎由黑色橡胶制成。这种橡胶受热时会产生黏性，冷却时会变硬。受热时会变软，更容易紧贴地面，即处于所谓的“抓地力强”的状态。相反，冷却时变硬，不容易紧贴地面，抓地力就弱。汽车行驶时轮胎与地面接触产生弹性变形，橡胶因摩擦而生热，从而使得轮胎的抓地力变强。在高速公路上行驶时，你不妨中途在服务区停车，亲手摸一下轮胎的触地面，会感觉有点儿烫。

比赛用胎是轮胎橡胶受热影响的极端例子。当轮胎触地面的橡胶温度达到大约80度时抓地力（黏着力）最强。在汽车行驶过程中，轮胎与地面频繁接触，橡胶温度极速升高，抓地力也不断增强。相反，由于在升温的过程中前轮胎抓地力是很弱的，便催生出了在赛前使用类似电热毯等布罩包裹轮胎以提高其温度的策略。

另外，冬天使用的无钉防滑轮胎采用了一种特殊的橡胶，即使在冰上也能保持柔软性。轮胎与地面接触时，柔软性好的橡胶易产生弹性变形，从而更容易摩擦生热，增强轮胎的抓地力。用手指按一下无钉防滑轮胎触地面的橡胶就会发现它非常柔软，手指很容易陷进去并且留下指痕。相反，用手指按一下买车时配备的标准轮胎（业界称为夏季轮胎）的触地面，就很难留下指痕。

无钉防滑轮胎采用的是质地柔软的橡胶，在炎炎夏日的柏油路上会因过于柔软而绵软无力，很难行驶。之所以区别春夏秋时使用的标准轮胎（即夏季轮胎）和在冬天（特别是在下雪和结冰时）使用的无钉防滑

轮胎，原因就在于此。

总之，只有充分利用轮胎所用橡胶的特性和热量，汽车才能正常行驶。

1.2.3 借助作用力与反作用力转向

接下来，我将讲述汽车是如何充分利用“作用力与反作用力”这一物理原理的。学文科的人或许又会抱怨啦：“又来了！”就请再稍稍忍耐一下吧。

与之前讲过的“热”一样，作用力与反作用力也是日常生活中我们能够真切感受到的物理原理。“热”和“作用力与反作用力”都是汽车利用到的重要物理原理。

驾驶员转动方向盘使汽车转向时，轮胎需要克服离心力。克服离心力的力量来自于轮胎触地时摩擦产生的抓地力。

这样一来，摩擦就发挥了阻力的作用。就如同即使托盘稍稍倾斜，玻璃杯也不会滑落一样，都是摩擦在发挥作用。在玻璃杯即将滑落时，摩擦会充当阻力的角色，防止其滑落。

思考一下托盘和玻璃杯的关系就会发现，抓地摩擦即为使车停止的阻力。轮胎却利用这一阻力加速、转向和前进。

还记得在学校学过的“作用力与反作用力”吗？老师肯定讲过：“你用手推墙，会感觉到墙也在推你。”用手推墙，墙虽不动，推的人却能感觉到一股墙好像也在推自己的反弹力（图1.4）。这就是“作用力与反作用力”。

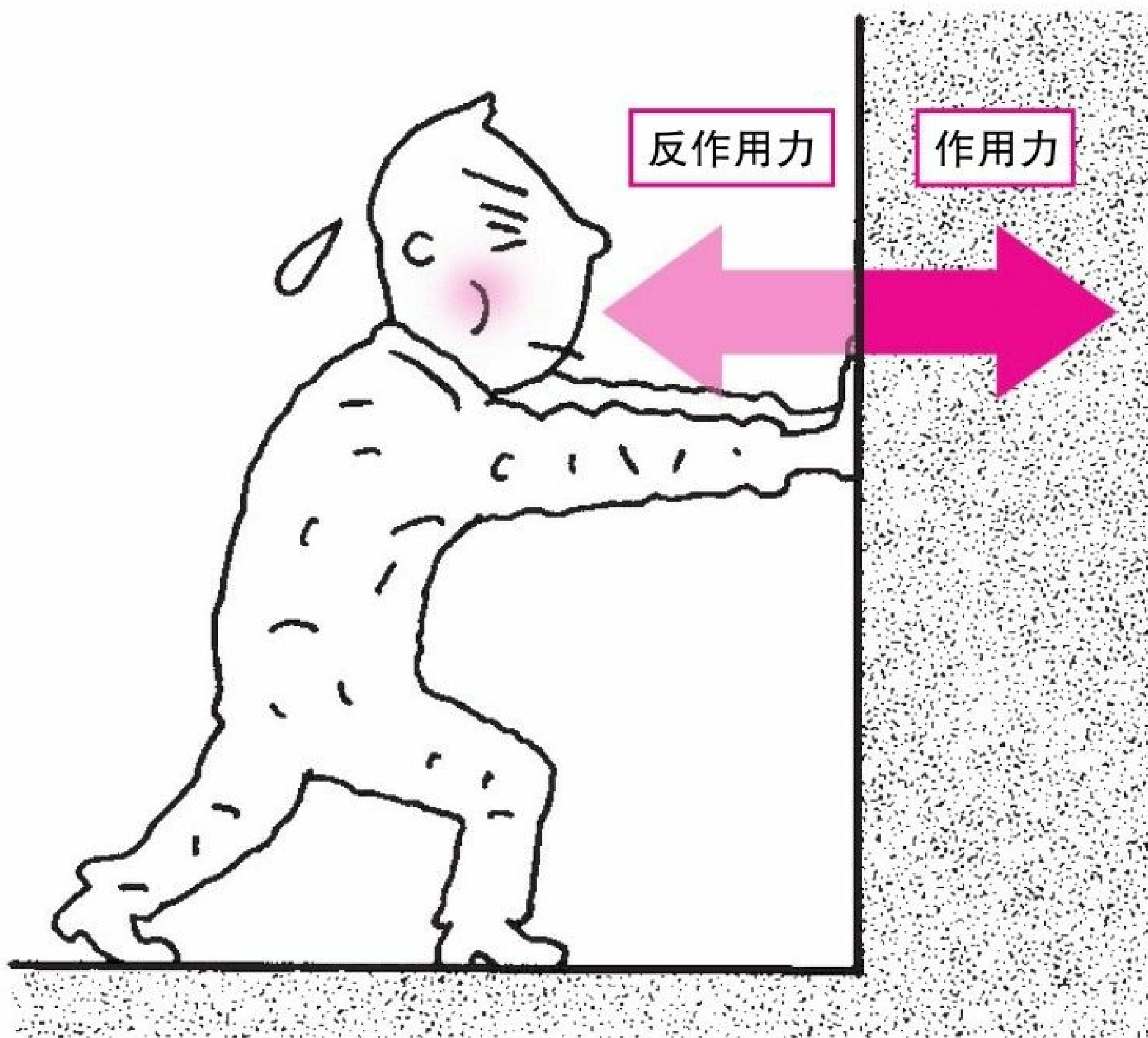


图1.4 作用力与反作用力

人们把这种反弹力称为阻力。即使对方不是墙而是人，也能感到“对方也在推自己”或者说“受到反弹力”。通过阻力或者反弹力，人们被推向用力方向的相反方向。同样，这一现象也会发生在轮胎与地面之间。轮胎与地面之间产生的摩擦变为阻力，抵抗轮胎的旋转，从而转化为汽车前进的动力。

如果没有摩擦生成的阻力，轮胎就无法推动汽车前进。摩擦产生的抓地力越大，阻力越大，汽车就能更快地行驶和转向。

路面有雪或结冰时轮胎容易打滑，不易行驶，这是因为水会减小轮

胎与地面之间的摩擦（产生反作用的阻力）。人在用手拿物品时，如果手上有水或者油，就容易打滑，很难拿住物品。相反，如果手和物品之间没有水和油，摩擦就会变大，也不会打滑，就能很牢固地拿住物品。

由于摩擦能够防滑，因此在干燥的柏油路上不易打滑。因为路面阻力大，所以汽车容易加速。

为了实现行驶、转向、停车这三大要素，汽车很好地利用了“作用力与反作用力”以及之前所讲的“热”等基本物理原理。之所以在本章开头说“汽车是与物理密切相关的交通工具”，就是因为汽车遵循了上述基本原理。

1.2.4 充分利用物理原理采取安全措施

在提高安全性方面，汽车同样充分利用了物理原理。

之前所讲的轮胎与路面间的摩擦，实际上是有限度的（图1.5），表示这一限度的图形叫做摩擦圆 。汽车处于摩擦极限以下，即以摩擦圆内侧的速度行驶是安全的。但如果加速至超过摩擦极限，转向时汽车就会飞离路面。之所以雨天因打滑引起的交通事故多发，就是因为汽车超过了摩擦极限。尽管速度很慢，但水减小了轮胎与路面间的摩擦。

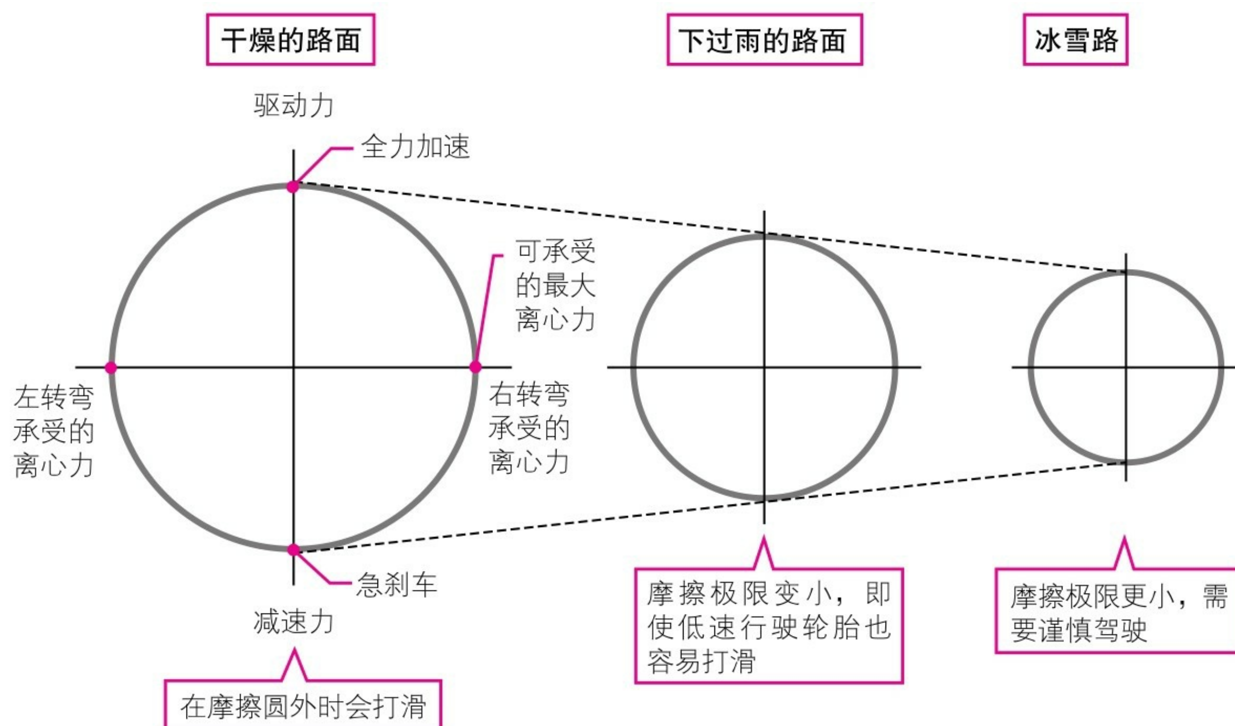


图1.5 轮胎的摩擦圆

摩擦圆表示轮胎的摩擦限度。如果轮胎受到的力超过摩擦极限，汽车就无法正常行驶。摩擦圆的大小取决于路面状况。

回想一下我们之前讲过的托盘和玻璃杯的例子。即使托盘稍稍倾斜，玻璃杯也不会滑落。但是如果倾斜幅度较大，就很容易滑落。托盘倾斜幅度的大小，就类似于汽车的超速程度。那么，如果在托盘上洒些水会出现什么情况呢？只要托盘稍稍倾斜，玻璃杯就会滑落。这是因为托盘和玻璃杯之间有水，防滑的摩擦就会减小，即使托盘稍稍倾斜，玻璃杯也会滑落。总之，充当阻力角色的摩擦极限会依实际情况而变。

最近，汽车都配备了驾驶辅助系统。在面临危险等紧急时刻时，它可以运用电子控制系统进行自动调节，以防汽车超出摩擦极限。看似平坦的柏油路，其实表面上或有起伏，或有检修孔[3]，或有白线。为了解其影响，行驶过程中传感器会检测时时变化的轮胎与路面摩擦的关系。并且，当汽车即将超过轮胎与路面间的摩擦极限时，驾驶辅助系统会通过控制加速器或启动制动器自动减速，保证汽车紧贴路面。

即便如此，轮胎产生的力也无法超出原有的抓地力。驾驶辅助系统不是魔法，只是遵循并最大限度地利用物理原理的一种手段。

发生撞击事故时的安全措施也利用了物理原理。汽车通过破坏车体（使之变形）来缓解冲击力，反向利用了“作用力与反作用力”，即受到撞击时，为使反作用力不伤及人身安全，受到撞击变形的车身吸收了部分冲击力，以此缓冲来自外界的强大的力量。

安全气囊也是同样。当乘员的上半身撞到装满空气（实际上是氮气）的气球状的安全气囊时，气球就会变形。通过其变形减小反作用力，从而将受伤几率控制在最小范围内。这也是应用了“作用力与反作用力”。

1.2.5 汽车巧用物理

如前所述，汽车的制造充分利用了物理原理。利用产生“热”的力以及连孩子们都能感受到的“作用力与反作用力”等简单的物理原理，汽车才能行驶、转向和停车。掌控各个动作的装置，分别是发动机和动力传动系（行驶），方向盘（转向）和制动器（停车）。

有助于实现“舒适性”的悬架、保证安全性的电子控制系统以及吸收撞击力的车身，都是在利用物理原理发挥其作用。汽车制造技术，是充分利用物理原理的结果。

因此，作为一种交通工具，为满足行驶、转向、停车、舒适性和安全性这五大要素，汽车充分利用了各种物理原理。虽然汽车生产商们想方设法开发各种最新技术，但其作用的发挥，都离不开上述物理原理。

1.3 汽车行驶、转向直至停车的过程

1.3.1 动力传动系驱动汽车

从第2章开始，我将逐个详细介绍汽车的五大要素：行驶、转向、停车、舒适性和安全性。第1部分包括第2章～第7章，介绍汽油动力

车。第2部分包括第8章～第9章，介绍电动汽车和混合动力汽车等新一代汽车。

在详细介绍各要素的过程中，你或许无法形成对汽车的整体印象。为了避免这种情况，我先大体解释一下汽车行驶、转向、停车这三大要素的实现顺序。为了使你能够追随结构理解这一过程，我就以目前的主流汽车——汽油动力车为例进行介绍。

首先是行驶。顾名思义，行驶指的是汽车发动、加速并保持一定速度前进的过程。在此过程中，动力传动系发挥了重要作用。它是将发动机输出的旋转力传递至轮胎的装置。

请看图1.6。这是发动机前置、后轮驱动的后轮驱动车（FR，Front Engine Rear Drive）的透视图。此外，根据发动机和驱动轮所在的不同位置，还有前轮驱动车（FF，Front Engine Front Drive）、后置后驱车（RR，Rear Engine Rear Drive）和中置后驱车（MR，Midship Engine Rear Drive）等类型，以后我还会详细介绍各车型。由于后轮驱动车的装置结构简单易懂，所以本书全部以后轮驱动车为例进行讲解。

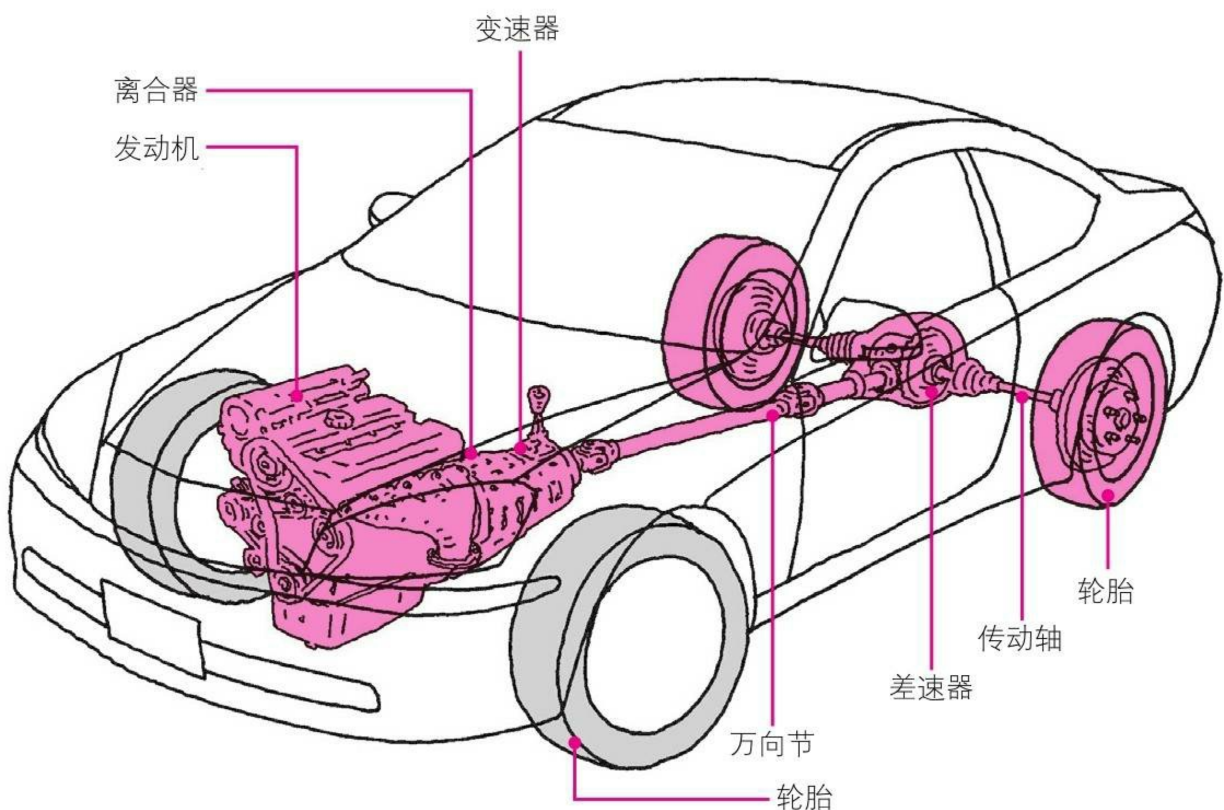


图1.6 汽车的动力传动系

以后轮驱动车为例

请看图1.6透视图中间的驾驶室。你能看到前面的发动机室里装着发动机吗？由燃料（汽油等）和空气混合而成的混合气体在发动机内燃烧，因热膨胀的气体产生下压活塞的力。下压力使轴旋转，即为发动机所做的功。紧接着，旋转力传递至动力传动系。

从发动机到后轮，动力传动系依次包括离合器 、变速器 、万向节 、差速器 和传动轴 。你可以与图1.6中的着色部分一一对应。

离合器负责切断发动机输出的旋转力。当驾驶员踩下离合器踏板时，旋转力被切断，位于离合器后面的变速器的齿轮也会分离。

由于齿轮的分离，旋转力完成变速，并通过万向节传递至差速器。在差速器中，由多个齿轮组合而成的装置，其旋转力将从发动机径直传向差速器并左右分散，通过传动轴　传至后轮。由此，后轮轮胎转动，

汽车才能行驶。

1.3.2 转向系统实现汽车转向

众所周知，“转向”即为改变汽车的行驶方向。转向时，是转向系统在发挥作用。所谓转向系统，是指通过转动方向盘　改变前进方向的装置，由方向盘、转向轴、转向齿轮箱和横拉杆组成。

请看图1.7。你能看到在驾驶室中方向盘的位置吗？它前面连着的轴就是转向轴 。

转向轴的前方连着的小箱子就是转向齿轮箱　。方向盘的转动经过转向轴传递至转向齿轮箱。

在转向齿轮箱中装有一个齿轮组，转动方向盘后是通过齿轮组来调整汽车行驶的方向的。

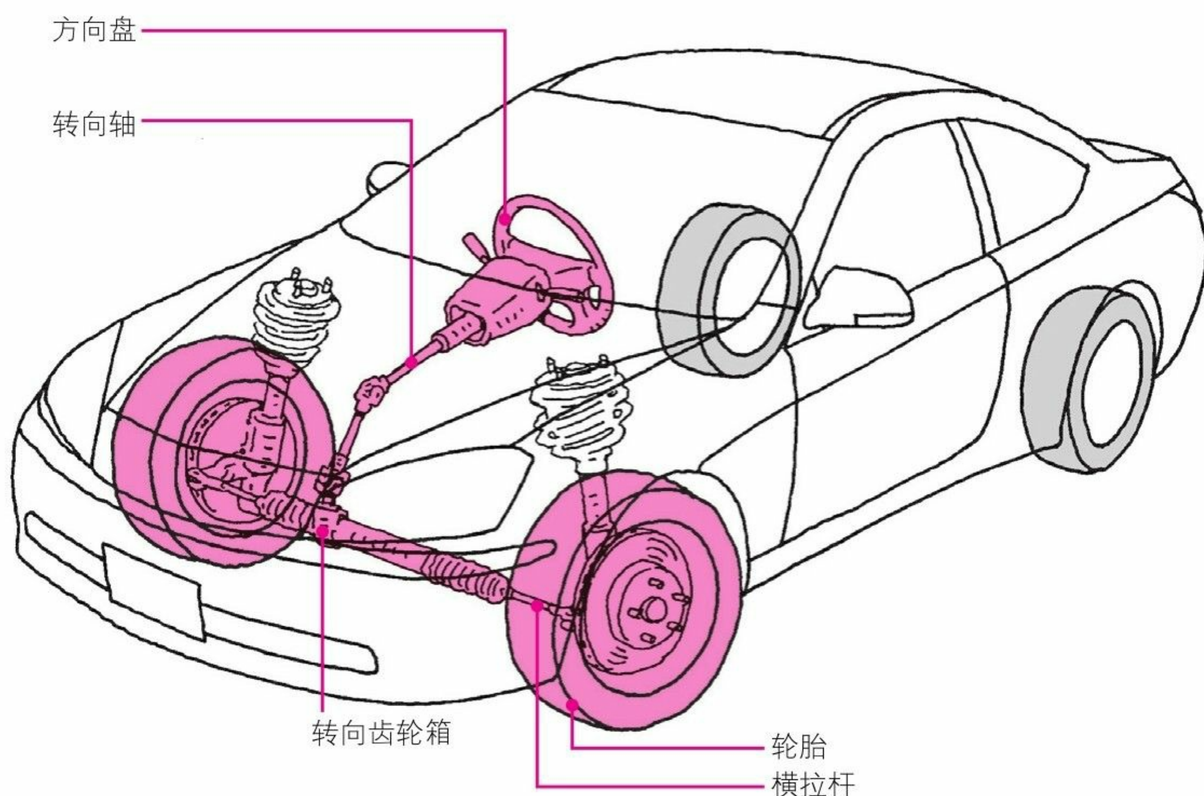


图1.7 汽车的转向系统

横向传递径直传来的旋转力，在某种意义上它与动力传动系中差速

器的传递路径相似，都是通过齿轮组结构，将纵向传递来的力横向传递出去。

在转向齿轮箱中，将左右方向的移动转变为横向移动，并通过一种被称为横拉杆　的连接棒传递至刹住前轮的车轴，从而改变前轮方向。由此，汽车改变了前进方向，完成了转向。

1.3.3 制动液传递制动压力，使轮胎停止转动

现在让我们来看一下“停车”。所谓停车，是指汽车减速直至停止的过程。在这一过程中，是制动器在发挥作用。如图1.8所示。

在驾驶室的方向盘下，有一个制动踏板　（实际上是有三个踏板，中间的是制动踏板）。根据杠杆原理，当驾驶员踩下制动踏板时，位于驾驶室和发动机室之间的制动器主汽缸　的活塞就开始运动。活塞的下压会给制动器主汽缸内的制动液施加压力，压力通过制动管道　传递至4个轮胎。

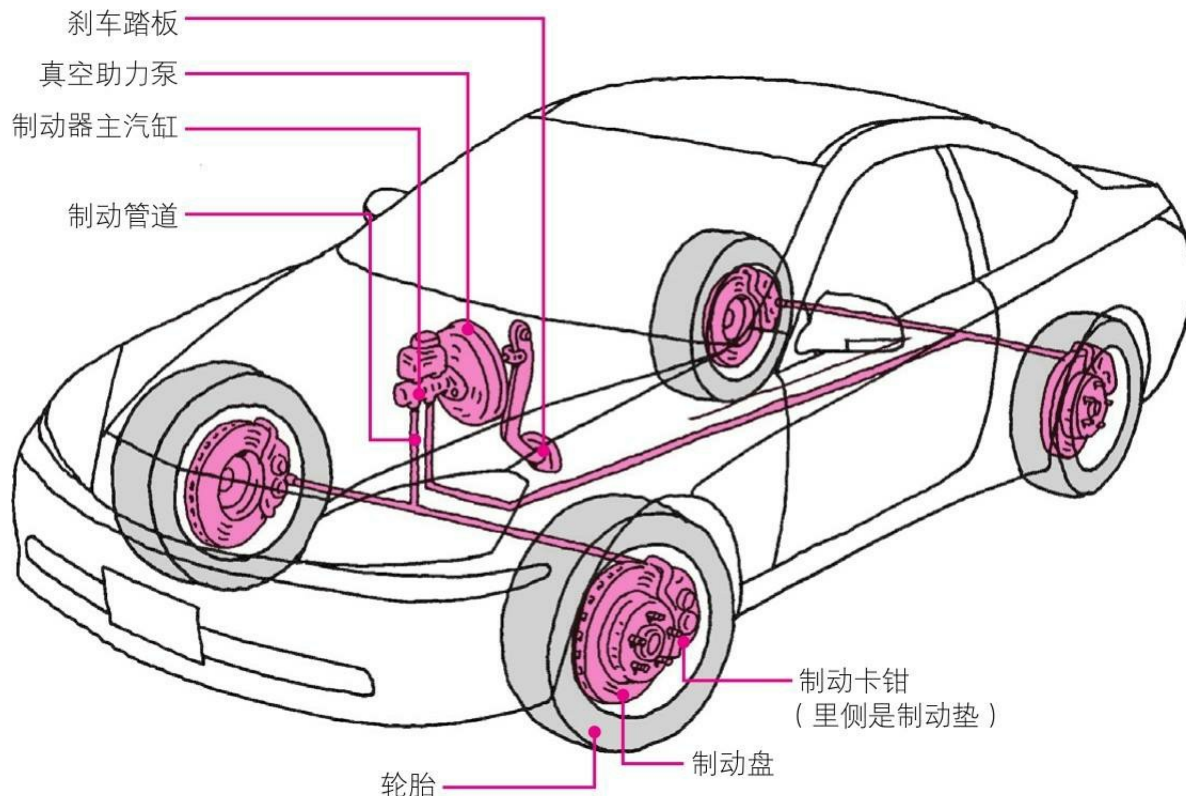


图1.8 汽车的制动系统

在轮胎内侧，可以看到有圆盘状的制动盘　和夹住制动盘的制动卡钳　。受到压力的制动液将压力传递至制动卡钳，下压汽缸中的活塞。活塞受力，制动垫就会从两边夹住制动盘。受到制动垫左右夹击的制动盘因摩擦生热，热量随即被释放到空气中。这样一来，汽车降低了速度，不久就会停止行驶。

以上就是汽车的行驶、转向和停车三大要素的大体顺序。从下一章开始，我将从驾驶员转动钥匙启动发动机开始，更加详细地依序介绍汽车的结构。

汽车辟谣

世界上最早的汽车真的是三轮车吗？

“铃铃铃”，编辑的电话响了。

编辑：到德国了吗？

记者：嗯，现在在斯图加特[4]呢。我刚知道世界上最早的汽车居然是三轮车！

编辑：真的吗？快给我仔细讲讲，不然我可不信。

记者：120年前，也就是19世纪，1886年1月29日这天，卡尔•本茨在德国获得了汽油动力车的专利。世界上最早的发动机汽车就诞生了，它就是三个轮子的。

编辑：真想不到它是个汽车。结实吗？

记者：当然啦。大概因为乍一看像一辆异形马车，当时它还被称为“无马马车”呢。

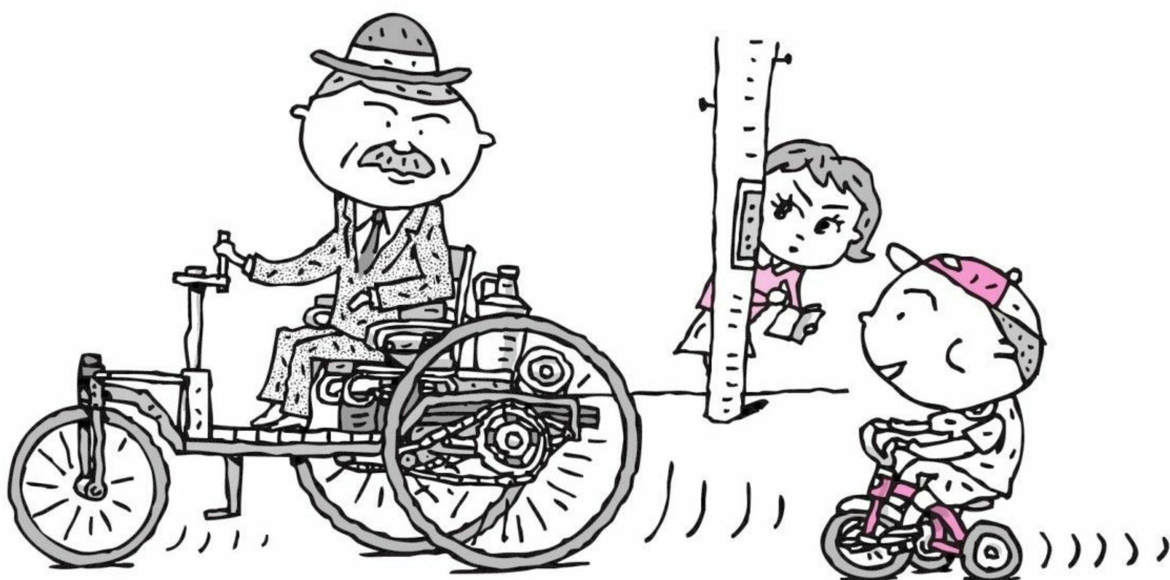
编辑：那为什么是三轮的呢？马车可是四个轮子。

记者：同为德国人的戈特利布•戴姆勒[5]给马车装上发动机改造而成的汽车确实是四个轮子的。最早发明三轮汽车的卡尔•本茨却认为，

马车的两个前轮由一根车轴连接，并通过这一整体来改变行驶方向，因为人需要很大的力量转动方向盘才能改变前轮的方向，因此只适合由马牵引，而不适用于汽车。而且他认为拐急弯的时候很容易翻车。

编辑： 别说得就好像你见过卡尔•本茨似的。那三个轮子的就不容易翻车了吗？

记者： 当然啦，速度越快越容易翻车。但是本茨那辆最早的车，车速仅为每小时15公里。



编辑： 那么慢啊？！

记者： 是啊。和马拉车的速度一样。这车确实是用来代替马车的。

编辑： 我知道了，接着说吧。

记者： 翻车的危险还好说，关键是人得能够轻松掌控方向盘。来德国后，我还试了试卡尔•本茨三轮车的仿制车，掌控方向盘确实很重要。

编辑： 有仿制车吗？

记者： 生产了几台。据说日本的丰田博物馆里就有一台。

编辑： 那是什么时候变成四轮车的呢？

记者：发明三轮车7年后，也就是在1893年，卡尔•本茨发明的第二辆车就是四轮的。

编辑：花了很长时间啊。

记者：四轮车的前轮驱动结构也运用在了现在的汽车上。转弯时，四个轮子的转弯半径各不相同。司机会结合弯道的实际情况决定方向盘的转动程度，以改变前轮的转弯角度。

编辑：原来如此。这还真是项大发明啊！

记者：卡尔•本茨不仅发明了汽车以取代马车，还力图给汽车提速，并且希望汽车能够更加安全顺利地转弯。他的丰功伟绩至今仍广为传颂，大概就是因为这个吧。

编辑：真有趣。快写成报道传给我。我可一直等着像卡尔•本茨这样有深度的报道呢。

记者：哎呀，真是有难度啊。

第1部分 汽油动力车篇

第2章～第7章讲解汽油动力车的结构。汽车在发动机中燃烧汽油，产生使轮胎转动的力，进而通过切换齿轮向前行驶。随后转动方向盘转向，最终踩下制动踏板停车。在这一部分，我将介绍汽车进行这些动作时的内部机制以及保证汽车安全舒适的技术。

第2章 行驶——发动机是汽车的心脏

热身问答

阅读正文前，让我们先回答下面的问题来热热身吧。

问题

下列哪个国家的哪位发明家最先发明了发动机？

1.卢森堡的艾蒂安·勒努瓦

2.法国的阿尔方斯·比奥·德罗夏

3.德国的尼古拉斯·奥古斯特·奥托

答案

1.卢森堡的艾蒂安·勒努瓦

解析

出生于卢森堡的勒努瓦在1859年发明了二冲程燃气发动机。

发动机有二冲程和四冲程之分。二冲程是指活塞每上下往复一次，燃烧一次，而四冲程是指活塞每上下往复两次，燃烧一次。汽车业界将二冲程和四冲程分别简称为二冲和四冲。本书将以汽车中使用较多的四冲程为例进行讲解。

勒努瓦发明的二冲程燃气发动机，其所用燃料不是汽油等液体，而是气体。据说它最初不是汽车的发动机，而是为工厂提供动力的固定装置，当时制造了400多台。1861年，搭载这一发动机的世界上最早的汽艇完成了环塞纳河航行，这在当时备受关注。

1863年，也就是勒努瓦发明二冲程发动机的两年之后，法国人阿尔方斯•比奥•德罗夏发明了四冲程发动机，它也是燃气发动机。

13年后，即1876年，奥托在德国获得了四冲程发动机的专利。所以也有说法称，奥托之所以获得专利，是因为他发明了四冲程发动机。

虽然我们问题的正确答案是“卢森堡的艾蒂安•勒努瓦”，但也请不要忘记德罗夏和奥托。因为如果没有他们两人，也就没有我在本章中要讲解的四冲程燃气发动机了。

本章重点

在第2章中，我将讲解驱动汽车的动力源——发动机的结构。发动机由多个零件构成，它们相互作用产生几马力到几百马力不等的力量驱动汽车。在本章中，我会依序解释发动机如何燃烧汽油、如何将燃烧产

生的“热量”转化为驱动汽车的“旋转运动”。那么，让我们从转动汽车钥匙启动发动机开始说起吧。

本章看点

（1）启动发动机

为启动静止的发动机，首先需要使起动机（电子启动器）开始运转。转动点火开关钥匙，起动机开始运转，随即启动发动机。我将首先解释一下起动机的功能。

（2）将空气与汽油混合后的混合气体送入发动机

转动起动机启动发动机后，空气与汽油混合后的混合气体会被吸入发动机内的汽缸。我将解释混合气体是如何产生并被充分吸入汽缸的。

（3）压缩混合气体，开始点火

活塞压缩吸入的混合气体，随即开始点火。接着，混合气体极速燃烧，在汽缸内膨胀，下压汽缸中的活塞。这样一来就形成了活塞的上下运动，由上下运动产生发动机的旋转力。我会详细解释这一过程。

（4）净化废气，减小噪声

混合气体燃烧后会排出废气。废气中含有对人体有害的成分，需要清除有害气体。并且，燃料燃烧时会发出声音，需要减小噪声。我将讲解一下废气的净化和减小噪声的方法。

（5）发动机所用的技术

通过（1）～（4）了解发动机的基本运转原理后，我会在最后介绍一下市售的实体汽车发动机所采用的技术。利用这些技术，发动机就能够更强力、更高效、更顺畅地运转，从而使汽车跑得更快。

（6）从空转到加快发动机的转速

发动机开始运转时，如果司机踩下加速踏板，则加快发动机的转速，汽车就会开动。我会介绍加速时油门打开、发动机转速加快的状态。

那么，请坐到车里吧，我将从发动机的启动开始讲解。

2.1 启动发动机

2.1.1 从点火开始

驾驶员用钥匙打开车门，坐到驾驶座上。接着将钥匙插入方向盘旁边的钥匙孔，向右转动。这样一来，就给汽车通了电。我们将这个动作称为点火 。

之所以最先给汽车通电，是为了启动发动机、使用车内的空调和音响等电器。点火可以让汽车接入主电源。

智能钥匙系统

如今，从小型汽车到高级汽车，都采用了利用电波的电子钥匙（即智能钥匙）。当汽车的信号接收器收到钥匙发出的电波时，系统会通过判断信号和预先设定好的识别代码（ID代码）是否一致，来决定是否开启车门。如果手持电子钥匙离开车数米，车门会自动上锁。

每当钥匙的信号发送器和汽车的信号接收器之间传递信号时，识别代码会自动更新，并在下次传递前保持不变。因其组合数量有一亿之多，从而加强了汽车的防盗性能。

使用电子钥匙，就不需要通过将钥匙插进钥匙孔来开关车门。将电子钥匙拿进车内，按下发动机启动按钮，或者转动发动机启动把手，即可点火。

想要开启空调时，可以在点火后打开空调开关。同样，想要启动发动机时，只需将转至点火位置的钥匙再往右转一下，即可启动发动机。

众所周知，发动机　　是汽车的心脏，而汽车是燃烧汽油的（照片2.1）。那发动机为什么需要通电呢？实际上是为了在最开始时，让汽油进入发动机内的汽缸。用电推动起动机转动，使发动机空转，从而将汽油导入汽缸。



照片2.1 汽油发动机

照片由丰田汽车提供

2.1.2 四冲程发动机的结构

下面我就来解释一下启动发动机后，是如何将汽油吸入发动机内的汽缸的。为了解释这一结构，我需要先讲解一下发动机是如何工作的。

发动机内有汽缸 和活塞 （图2.1），活塞与连杆 相接，连杆连接着活塞和曲轴 。活塞在汽缸中进行上下往复运动，带动连杆，从而使曲轴转动，这就是发动机的基本结构。曲轴的转动沿着传递路径（将在第3章中进行介绍），最终到达轮胎（车轮）。这样一来，发动机的转动带动轮胎旋转，从而驱动汽车。

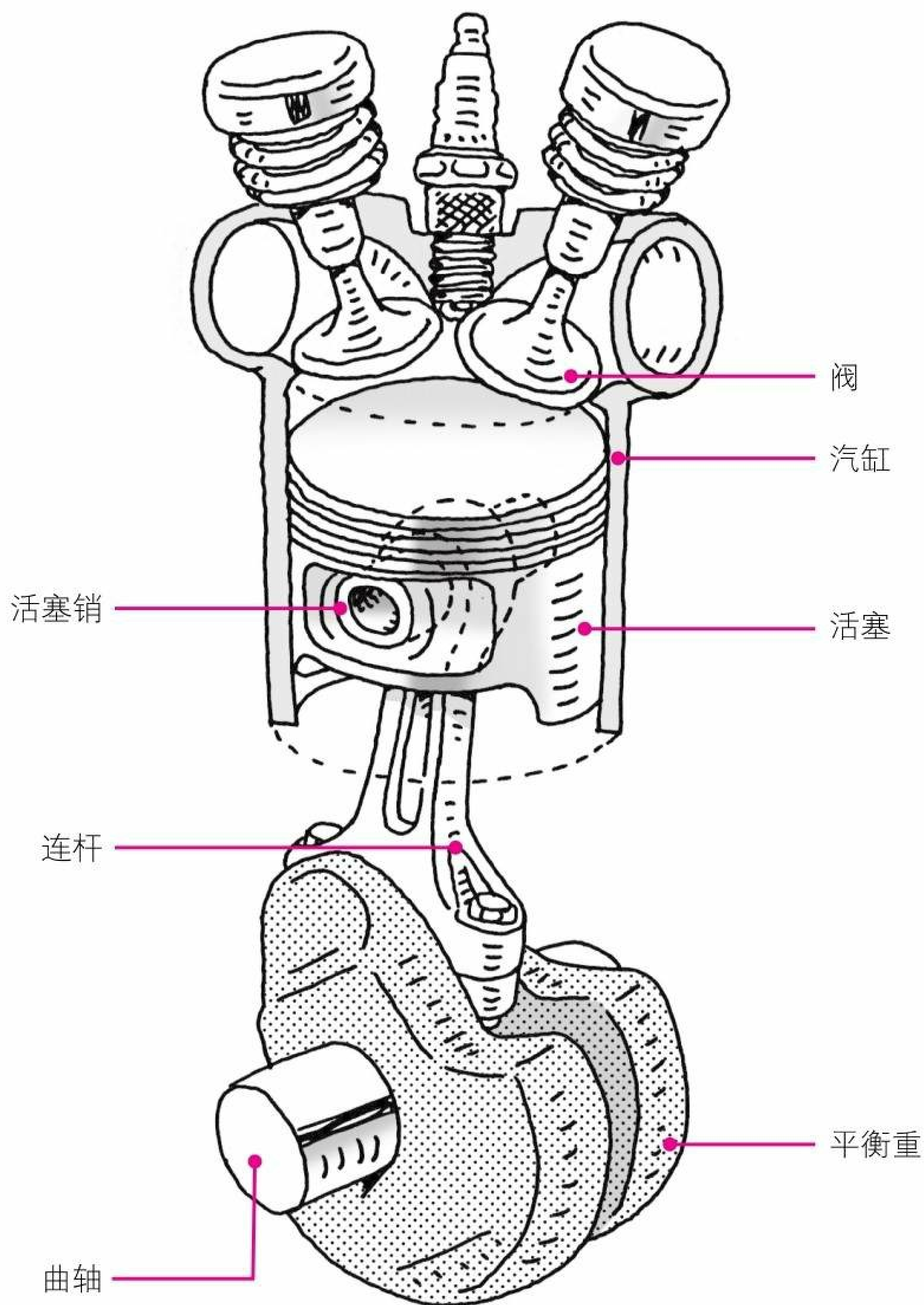

阀
汽缸
活塞销
活塞
连杆
平衡重
曲轴

图2.1 发动机的构造

下面我想简单介绍一下活塞的往复运动。活塞的往复运动包括进气、压缩、膨胀和排气四个冲程（图2.2）。因为有四个冲程，所以我们称这类发动机为四冲程发动机　。在这一过程中活塞上下往复，带动曲轴转动。

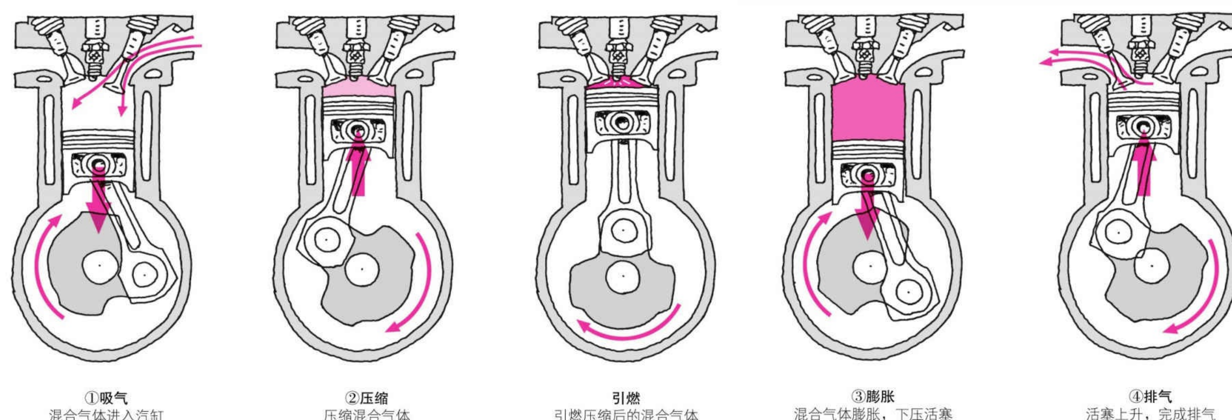


图2.2 四冲程发动机

重复进气、压缩、膨胀、排气四个冲程

首先是进气。在这一阶段，空气与汽油混合后的混合气体被吸入汽缸，我们称之为进气冲程 。此时，汽缸中的活塞向下运动。

接着是压缩。此时降至下止点的活塞逐渐上升，压缩汽缸中的混合气体，我们称之为压缩冲程 。

然后是膨胀。活塞升至上止点时，压缩后的混合气体被点燃，开始迅速燃烧。随后，气体膨胀下压活塞。我们称这一过程为膨胀冲程 。

最后是排气。在这一阶段，混合气体燃烧后残留的煤烟被排出汽缸，我们称之为排气冲程　。此时，在膨胀冲程中降至下止点的活塞再次上升，并随其上升向外排出煤烟。排气结束时会返回到最初的进气冲程，再次重复压缩、膨胀、排气和进气，带动活塞上下运动。

在四冲程发动机中，直至四个冲程全部完成，活塞总共上下往复了两次。活塞在进气时下压，压缩时上升，膨胀时下压，排气时上升。活塞上下往复两次，带动曲轴转动两次。也就是说，四冲程发动机每燃烧

一次混合气体，活塞往复两次，曲轴转动两次[6]。即燃烧一次转动两次。这就是四冲程发动机。

2.1.3 将活塞的上下运动转化为曲轴的旋转

在四个冲程的反复中，活塞的上下往复是如何转化为曲轴和轮胎的旋转运动的呢？让我来解释一下。

在这一过程中，汽缸、活塞、连杆和曲轴发挥了重要作用。正如图2.1所介绍的，连杆连接着汽缸内的活塞和曲轴。而将活塞的往复运动转化为旋转运动的关键，就是这四个零件中的曲轴。

如图2.3所示，曲轴是一根凹凸不平的轴。凸出的部分连接着连杆的一端，连杆负责将活塞的运动传递至曲轴。活塞上下运动带动连杆上下运动。接着，连杆下压曲轴的尾部，曲轴开始旋转。这样一来，活塞的往复运动就转化为了曲轴的旋转运动。

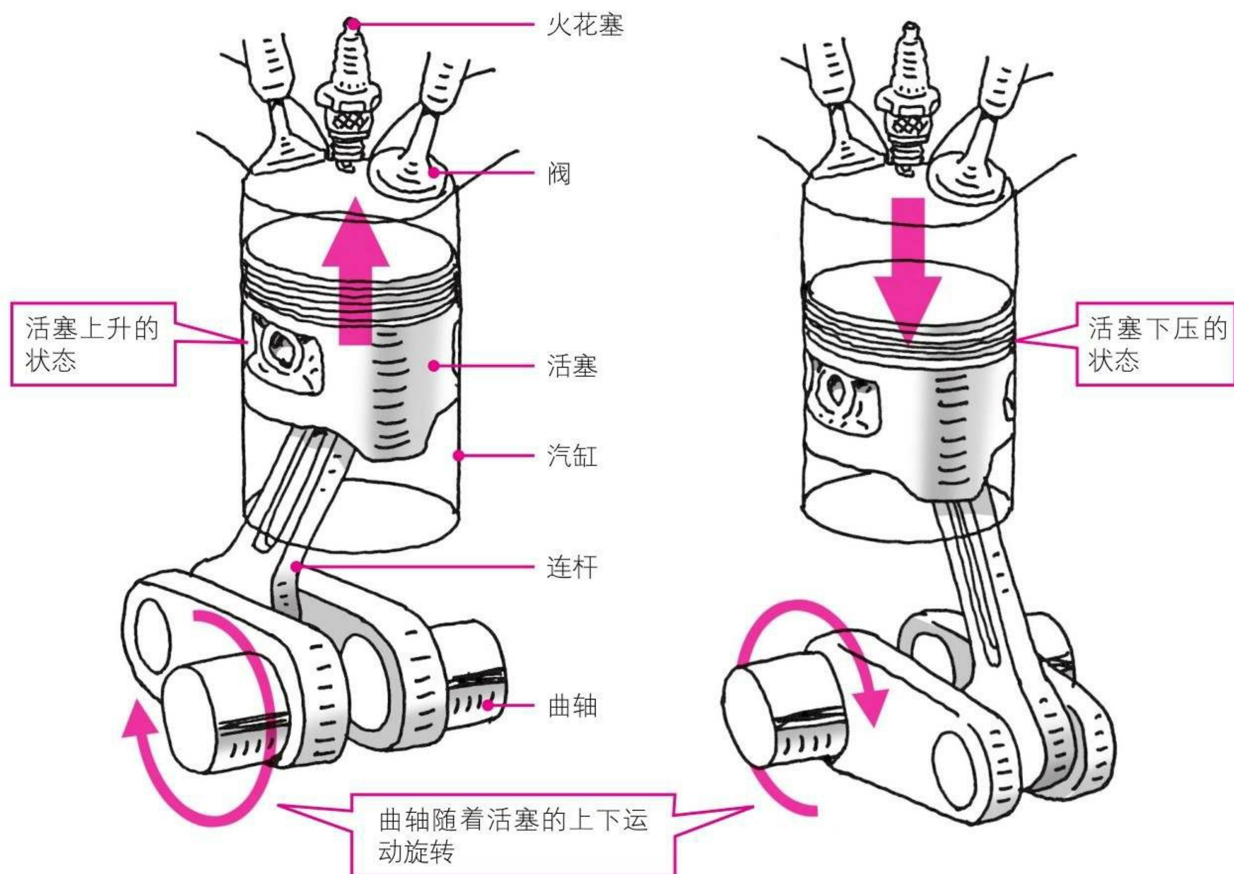


图2.3 将活塞的上下运动转化为曲轴的旋转

让我们再具体看一下。当活塞下压时曲轴的凸出部分也跟着下压，活塞上升时凸出部分也随之向上旋转。接着，活塞再次下压，曲轴的凸出部分也随之旋转下压。这样就形成了曲轴的旋转运动。曲轴凹凸不平的形状有利于其旋转。

2.1.4 启动发动机前先使曲轴转动

到此为止，想必你已经明白了活塞的往复会带动曲轴旋转了吧。也可以说只有曲轴持续旋转，活塞才能不断进行往复运动。如果曲轴不旋转，就无法吸入混合气体，更不能使活塞上升、压缩混合气体。正是因为有了曲轴的旋转，活塞才能上升、压缩、燃烧，完成四个冲程。

那么，怎样才能启动四冲程发动机呢？这就回到了启动发动机时为何需要通电这一话题。为了开始进气和压缩这两个冲程，必须利用外部力量促使活塞上下运动，开启四冲程。也就是说，启动时需要有一个相

反的动作，即先用起动机 促使曲轴旋转，再带动活塞上下运动。

为使曲轴旋转，需要利用蓄电池带动起动机转动。这就是我在本章开头讲到“点火后，再往右拧一下钥匙”时汽车内部发生的动作。

起动机的转动带动曲轴旋转，活塞进而开始往复运动[7]。接着，发动机开始空转。活塞下压时发动机内汽缸中的气压下降，产生吸力，从而将空气和汽油混合后的混合气体吸入汽缸中。随即进入最开始的进气冲程。

发动机真是个奇妙的装置：逆于常序启动发动机，发动机启动后又以常序驱动汽车。接下来将要介绍的蓄电池也运用了类似的可逆原理。

2.1.5 用蓄电池供电

之前已经讲过，启动发动机时，需要使用起动机带动曲轴旋转。给起动机供电的电源，就是蓄电池 。蓄电池多位于发动机室中，也有一些汽车将其置于后备箱里。

图2.4展示了蓄电池的结构。树脂外壳中排放着薄而平的铅板，铅板浸泡在稀释过的硫酸（稀硫酸溶液）中。蓄电池利用铅板和硫酸间的化学反应来放电。铅和硫酸反应生成硫化铅，产生电子从而放电。

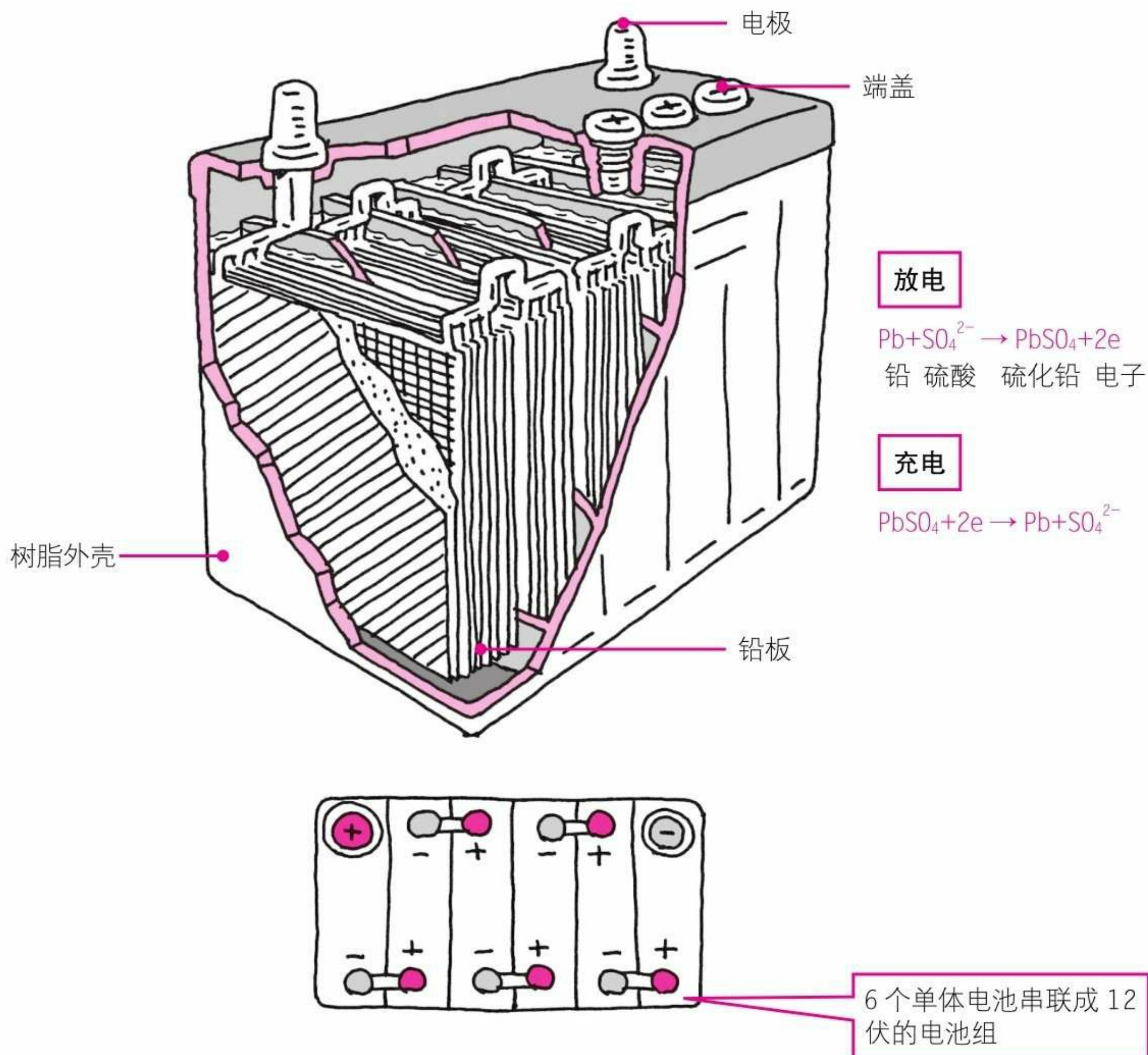


图2.4 蓄电池的结构

利用化学反应，反复充电放电。

蓄电池就是这样利用化学反应来放电的装置。当化学反应的次数达到一定数量时，蓄电池就无法放电了。因此，需要经常给蓄电池充电。反向进行铅板和稀硫酸溶液之间的化学反应，将蓄电池还原至本来的状态。如果不充电，蓄电池就无法放电，即处于所谓的“瘫痪”状态。

给蓄电池充电使用的是交流发电机 ，它是一种依靠发动机动力运转的发电机。启动发动机后，交流发电机持续发电。将其产生的电通入蓄电池，就能保证蓄电池持续放电。

就像我在讲曲轴时所说的那样，蓄电池也是利用可逆原理发挥其作用的。

讲到这里，可能有人会问：既然有了发电机，那发动机启动后不就不需要蓄电池了吗？这样讲也有道理。

但是，交流发电机是小型发电机，其发电能力无法满足汽车全部的用电需要。不仅发动机点火时需要强劲的电力，汽车上还有数量众多的电器，如空调、音响、导航、电动车窗、雨刮器、前灯、刹车灯等也同样需要。

蓄电池对汽车来说意义非凡，汽车依赖蓄电池。你可以把交流发电机看作是防止蓄电池“瘫痪”的装置。

如前所述，如今的汽车配备了数量众多的电器，因此需要使用容量更大的蓄电池。除了这些必要的电器外，如果还想增加其他装置，就需要考虑蓄电池的容量了。电力不足可能会使蓄电池无法给点燃混合气体的火花塞供电，从而导致发动机停止工作。

在雨夜里你可能会遇到这种情况：开着前灯、雨刮器、空调和导航，一边听着耗电量大的音响，一边在堵车的道路上缓慢前行。这时就有可能会出现交流发电机供不上电、行驶中蓄电池“瘫痪”的状况。此时，你只需关闭其中任何一个正在耗电的电器即可。

让我们从发动机启动开始，再确认一遍汽车的发动顺序。蓄电池放电，转动起动机，起动机带动发动机空转，发动机进入进气冲程开始启动。发动机启动后，只需将向右拧至启动电动机状态的钥匙再往左拧一下，即可点火。

2.2 将空气与汽油混合后的混合气体吸入发动机

2.2.1 雾化汽油，生成混合气体

发动机启动时，空气和汽油的混合气体被吸入汽缸。接下来我将讲解这种混合气体是如何生成的。

汽油是液体，这自不必说。那么，如何将液体的汽油与空气混合呢？物体的燃烧有三个必要条件：可燃物、助燃物（氧气）、点火源。缺少其中任何一个条件，燃烧都无法进行。

在发动机中，汽油是可燃物，助燃物——氧气存在于空气中，点火源来自于火花塞释放出的电火花。之后我还会详细讲述如何利用火花塞引燃混合气体，在这里我先讲一下混合气体的生成方法。

汽化程度越高，液体汽油越容易与空气混合，因此就出现了燃料喷射装置 。

2.2.2 将燃料注入汽缸的“燃料喷射”

燃料喷射装置先给汽油加压，从喷嘴的喷出口处喷出汽油蒸汽。这是为了将液体制成细小颗粒以提高其汽化程度。

这就类似于人们缩拢双唇用力喷出含在嘴里的水。水喷出时会变成水雾，通过开闭喷出口，能够调整喷射汽油的时机。实际上，与其说是喷出口，倒不如说是阀门的开闭决定了喷射时机。为了提前给汽油加压，需要用到泵。并且，为了尽快改变汽油的浓度，有必要暂时储存加压后的汽油。

顺便说一下，雾化燃料进行喷射的方法，早先是运用在柴油发动机而不是汽油发动机上。柴油发动机所用的燃料是轻油，不如汽油干燥。因此需要施加更大的压力并强力喷出，才能将其雾化。而且，柴油发动机和汽油发动机燃烧混合气体的方法不同。柴油发动机最初只将空气吸入汽缸，压缩空气后才供给燃料进行燃烧。因此，比起柴油发动机，燃料喷射更适用于汽油发动机以及更高级的发动机。

2.2.3 燃料喷射包括直接喷射和吸气管喷射

燃料喷射有间接喷射和直接喷射两种方法。其中，直接喷射一般简称为直喷，想必大家也听说过这种说法，但我们一般不把间接喷射简称为间喷。

在发动机中，与汽缸相连的空气通道被称为吸气管　　（或进气管）。所谓间接喷射，是指在吸气管前雾化燃料，事先在此生成空气和汽油的混合气体，再将混合气体吸入汽缸。这种方法通常被称为吸气管喷射，在之后的讲解中，我就使用这个名称。

直喷与此相反，是指在汽缸中直接将汽油雾化，并在其中生成空气与汽油的混合气体。因为是直接向汽缸中喷射汽油，所以称之为直喷。一般说来，直喷比较省油，所以我想先简单解释一下直喷和油耗的关系。

一般认为，直喷是针对柴油发动机的，但后来也应用于汽油发动机上。

在引燃用的火花塞（点火栓）附近直接喷射雾化后的汽油，更容易引燃空气和汽油的混合气体。由于越接近火花塞喷射越容易引燃，因此即使汽油和空气的混合比率低于其理想比率（即使汽油量小），也能引燃。所以我们说直喷可以降低油耗。

并且，直喷是在空气被压缩、温度升高时直接喷射汽油。此时汽油迅速蒸发，汽化热使空气冷却，从而增加了空气密度。这与夏天在路面上洒水，水分蒸发会吸收周围的热一样，都是汽化热在发挥作用。如果吸入更多的空气，即使相应地增加汽油量也很难产生余烬，这就大大增加了汽车的马力。

之所以说直喷和涡轮发动机　　契合度很好，就是因为涡轮增压器（详见2.6.3节补充内容）能够送入更多的空气。

2.2.4 空气和汽油的理想比例是14.7：1

在此，我先介绍一下空气和汽油的理想混合比率——空燃比　。我们将理想的空燃比称为理论空燃比　，一般是指其质量比为14.7：1，即当汽油质量为1、空气质量为14.7时，汽油刚好燃尽。

以此为界，汽油越多，越容易产生余烬造成浪费。相反，汽油越

少，越难引燃，吸入的空气量大但无法充分生成下压活塞的力，即处于发动机大但力量小的状态。

通常，发动机会按照14.7：1的比例生成混合气体。要检测发动机吸入的混合气体是否达到了这个比例，需要用到发动机的氧传感器　和车载电脑。氧传感器用于检测残留的氧气量，通过测量废气的含氧量，确认发动机是否吸入了燃烧汽油所需的空气量。

当汽油以理想的混合比例完全燃烧时，其效率最高，且发动机排出的废气也很容易得到净化。请牢记，对于发动机来说，有一种“空气和汽油达到理想混合比”的状态。

2.2.5 在直喷中，需要形成旋涡才能很好地生成混合气体

接下来，我将为大家介绍直喷发动机喷射燃料的过程。在直喷中，汽缸中的活塞下压时只吸入了空气，接着活塞开始上升，当汽缸内的压力升高时，就会直接喷射燃料。为了向高压空气中喷射雾状汽油，必须使喷射的压力高于压缩后的气压。因为如果不这样，汽油就无法进入汽缸。

因此在直喷中，需要配备比吸气管喷射还要强劲的燃料泵。我们在地面受到的1个大气压，而直喷发动机的燃料泵的压力为100个大气压，足足高出了100倍。

为了时常保持这样的高压状态，需要强劲的泵和暂时储存加压后的汽油的装置。并且，每一个汽缸都需要一个喷射喷嘴。这必然会相应地增加零件费用，因此直喷多应用于高级车中。

除了价格高，直喷还有其他缺点。由于直喷需要将汽油和空气在汽缸中迅速混合，因此要在活塞头部设置凹槽形成旋涡，以混合空气和汽油（图2.5）。但是，活塞头部的凹槽会扰乱混合气体的燃烧。而吸气管喷射无需在活塞头部设置凹槽，因此可以顺利进行混合气体的燃烧。

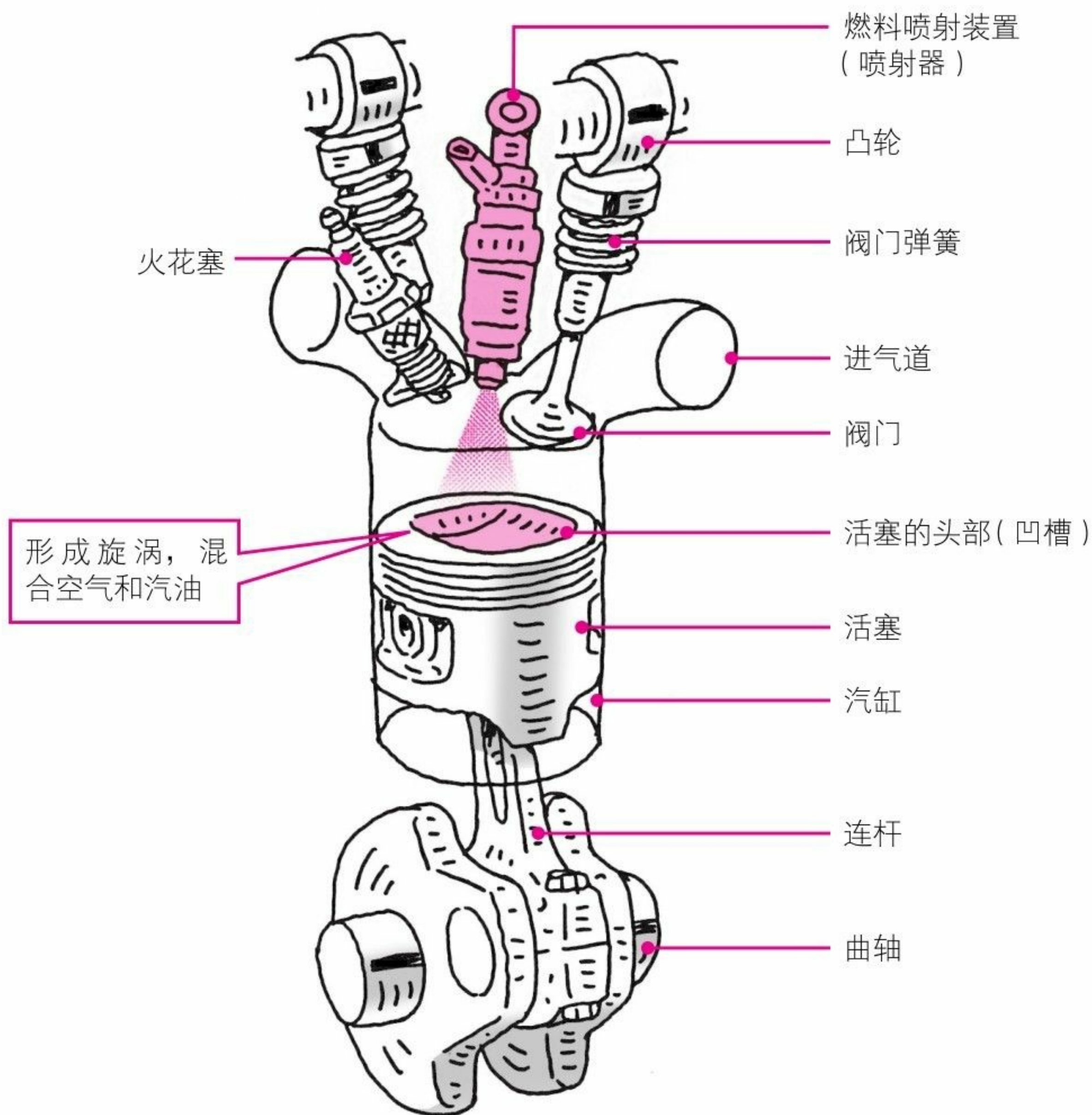


图2.5 直喷发动机

活塞的头部设有凹槽，容易形成旋涡。

直喷和吸气管喷射，究竟哪一种方法能够更好地实现汽油的完全燃烧呢？技术发展日新月异，很难判断谁是最后的赢家。但如果吸气管喷射能够优于直喷实现汽油的高效燃烧，它就可能成为今后的主流。

接下来，我会以吸气管喷射为例，依照事先在吸气管中生成混合气体、再将混合气体吸入汽缸中的顺序进行详细讲解。吸气管喷射是燃料

喷射的基础，我会以此为前提进行介绍。至于今后的主流究竟是直喷还是吸气管喷射，我们就暂且不做讨论了。

2.2.6 开启阀门，混合气体进入汽缸

汽缸顶部的汽缸盖 （端盖）上有进气阀 。进气阀开启时，空气和汽油的混合气体就会通过进气道 进入汽缸（图2.6）。进气阀和排气阀是汽缸盖上分别控制进气孔和排气孔的阀门。

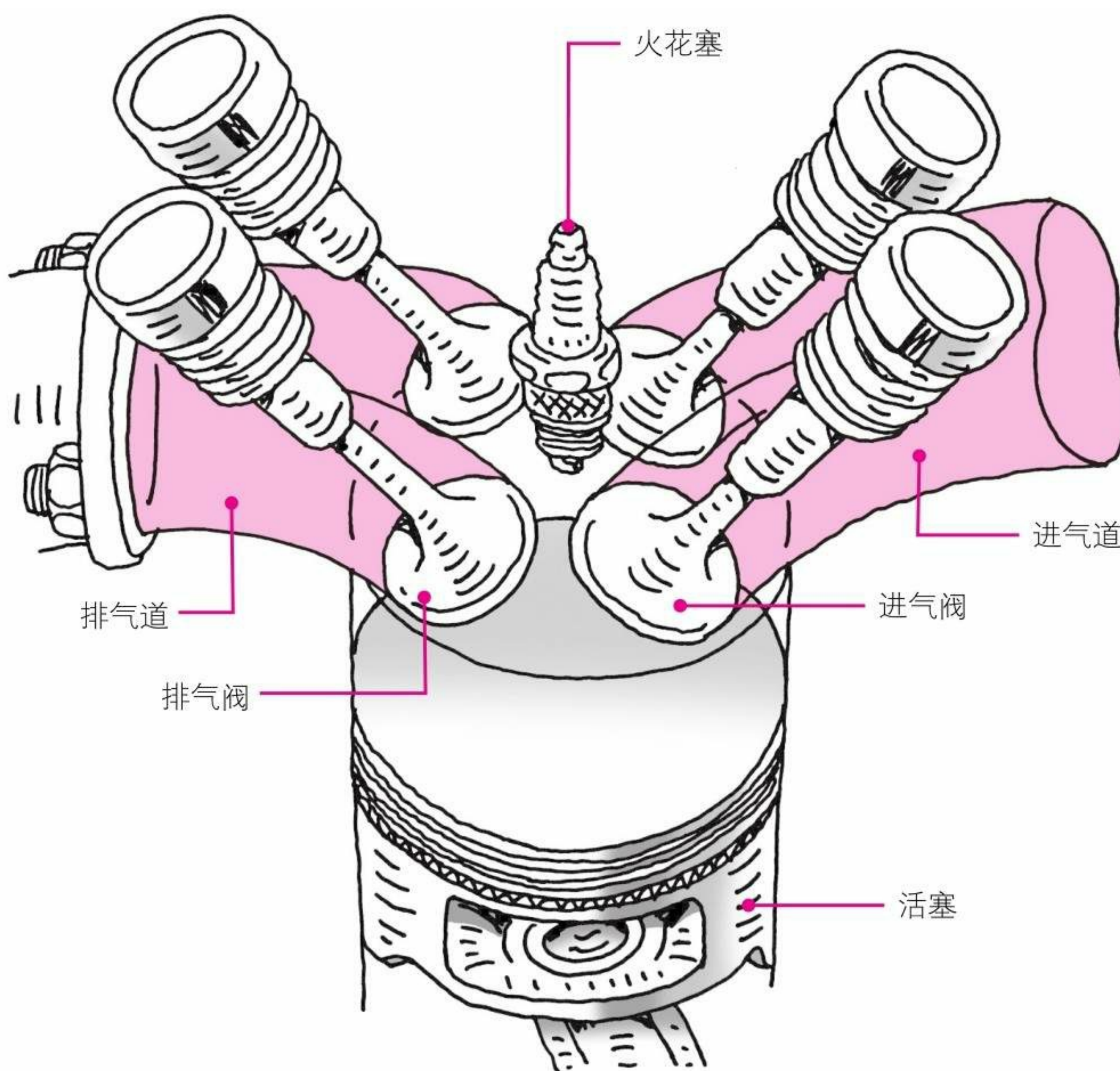


图2.6 发动机的进气阀/道和排气阀/道

经由进/排气道和阀门，吸入混合气体，燃烧后排出废气。

汽缸盖由铁和铝压铸制成，进气道和排气道位于汽缸盖的内侧，是通向汽缸的进气和排气通道。这里所说的进气道，与发动机前面附有燃料喷射装置的吸气管不同，排气道也与通向发动机后面的汽车尾气净化器和消音器的排气管不同。通道与吸气管和排气管相连，但我们只把位于汽缸内部的部分称为通道。

活塞下压时，进气阀随之开启。活塞下压牵引气体，混合气体借机进入汽缸。

进气阀和排气阀分置汽缸盖的左右。如图2.6所示，小而圆的进气阀和排气阀紧密排列在圆柱形汽缸里侧的边缘。当右侧两个并排的进气阀开启时，混合气体就会进入汽缸中，这就是进气冲程。

进气阀和排气阀之所以分别有两个，是为了在汽缸这个有限的圆柱中尽可能多地留出进气空间和排气空间。过去，有的发动机只有一个进气阀和一个排气阀，也有的为了增加进排气空间，设置了三个进气阀和两个排气阀。之所以进气阀多于排气阀，是为了增加进气量，燃烧更多的汽油，给汽车提供更大的动力。

在此，我给大家解释一下最常见的四阀组合，即进排气阀各有两个。虽然数量相等，但进排气阀的大小不同，进气阀要比排气阀大一些，这也是为了增加进气量。

进气冲程完成后，在压缩冲程和膨胀冲程中，进气阀和排气阀都处于关闭状态。当膨胀冲程结束后进入之后的排气冲程时，图2.6中左侧的排气阀就会开启，从排气道 中排出废气。

接下来，我来具体讲解一下混合气体进入汽缸时的状态。进气道向汽缸倾斜往下延伸，在进气道的前端有个汽缸盖上的进气口，由进气阀控制其开闭。从汽缸的正上方观察进气阀，会发现它偏向汽缸盖的一侧。

进气道与汽缸斜向相连，且偏向汽缸盖的一侧，这就使得混合气体斜向进入汽缸中。接着，混合气体在汽缸内形成旋涡（图2.7），充分混合空气和汽油。

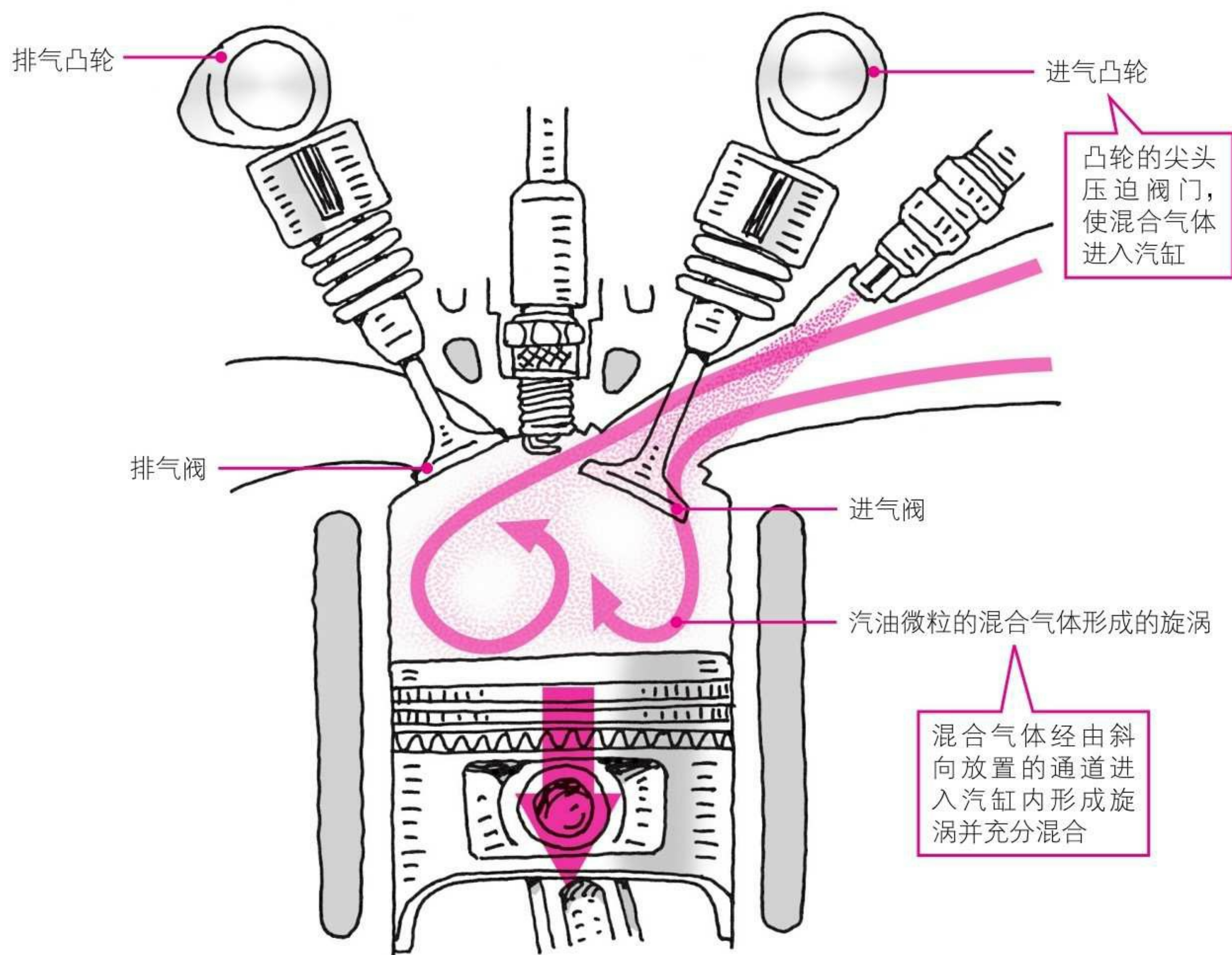


图2.7 在汽缸内形成旋涡

进气道有坡度且偏向一侧，使混合气体形成旋涡并充分混合。

在喝果汁或者混合饮料时，我们会晃动杯子以充分混合杯中物，这时就会形成旋涡。同样，在汽缸内形成旋涡，也是为了充分混合空气和汽油。搅拌后的饮料由于味道均匀，更加好喝。同样，将混合气体均匀、充分混合，也会使汽油迅速燃尽，不留余烬。

当活塞上升、火花塞引燃汽油时，这个旋涡还能加速火苗扩散，加快燃烧速度。如果恰好能在活塞上升到上止点、混合气体被充分压缩时瞬间引燃汽油并燃尽，下压活塞的力就会变大，也就意味着加快了燃烧速度。

请允许我再重复一遍。进气阀位于汽缸盖上，进气道倾斜以便混合

气体流入汽缸，这都是为了使混合气体均匀、充分混合并能迅速燃烧而设计的。

2.2.7 活塞上升，压缩混合气体

刚才说到，混合气体进入了汽缸。之后活塞降至下止点，然后随着曲轴的旋转开始上升。与此同时，进气阀关闭。进气阀的关闭也伴随着活塞的运动。

排气阀始终关闭着，进气阀则处于刚刚关闭状态。当两个阀门同时关闭时，活塞上升，于是其中的混合气体就被压缩了。这就是压缩冲程。

当活塞升至上止点时，与活塞降至下止点时相比，汽缸内混合气体的体积仅为其1/10。这时我们称“压缩比 为10.0”。压缩比越大，发动机做功就越多。即压缩比越大，发动机的效率就越高。

压缩后的混合气体开始燃烧，迅速膨胀后强力下压活塞。压缩比越大，压缩后的体积与膨胀后的体积比越大。因此，随着活塞下压时混合气体体积增大，发动机做的功也就多了。

请记住：充分压缩后再燃烧，能够释放出巨大能量。但是，要增大压缩比，则需要使用高辛烷值汽油 。

高辛烷值汽油

在加油站，高辛烷值汽油被标注为高级汽油。

空气压缩时温度会升高。在压缩冲程中，发动机的压缩比越大，混合气体的体积被压缩得就越小，混合气体的温度也会越高。此时，火花塞引燃混合气体，若其火焰未扩散至整个汽缸，汽油便会自燃。之所以会出现这种现象，是因为火花塞逐渐靠近火焰时，温度不断升高，因此在遇到火焰之前汽油就会自燃。我们把这种异常燃烧称为爆震 。

一旦发生爆震，整个汽缸内部都会燃烧起来。因此，很难通过迅速燃烧使发动机瞬间获得强大动力。并且，偏离联动活塞的最佳时间燃烧

可能会损坏发动机。

因此，加入了添加剂以防止自燃的高辛烷值汽油出现了。

辛烷值　是表示汽油抗爆性的指标。辛烷值越高，汽油越难自燃。辛烷值较高，即高辛烷值的汽油，简称为高辛烷值汽油。

包括高辛烷值汽油在内的高级汽油是一种多功能汽油。它混合了除去残存在发动机内的炭（汽油不完全燃烧的产物）之后的其他成分，在制造上要比普通汽油麻烦，附加值很高。

2.3 压缩并引燃混合气体

2.3.1 用电引燃混合气体

压缩完混合气体后，活塞在汽缸中升至上止点，这时就要用电引燃压缩后的混合气体。

用电引燃混合气体的是火花塞　（点火栓）（照片2.2）。从汽缸盖的正上方看火花塞，会发现它正好夹在四个进排气阀的正中央。



照片2.2 火花塞

照片由日本特殊陶业提供

火花塞的外部是由陶瓷制成的白色筒状绝缘体，中间通有铁丝，前

端附有电极（图2.8）。电极的前端有个不超过1毫米的狭窄间隙。

当给火花塞接通1万伏的高压电时，就会从电极前端的狭窄间隙中飞溅出火花，成为点火源引燃混合气体。由于引燃之前混合气体已被充分压缩，所以一旦引燃，火焰就会迅速扩散。火焰传播（火焰扩散）的速度可以达到每小时50km～100km。

汽缸中混合气体的温度会因汽油的燃烧迅速升至数千摄氏度。同时，汽缸内的压力也会达到50个大气压。熊熊燃烧的混合气体不断膨胀，强力下压活塞，此时活塞承受的力甚至可以达到数吨。

在茶叶罐大小的汽缸中瞬间点燃空气和汽油的混合气体，发动机即可产生几吨的力，带动曲轴旋转。

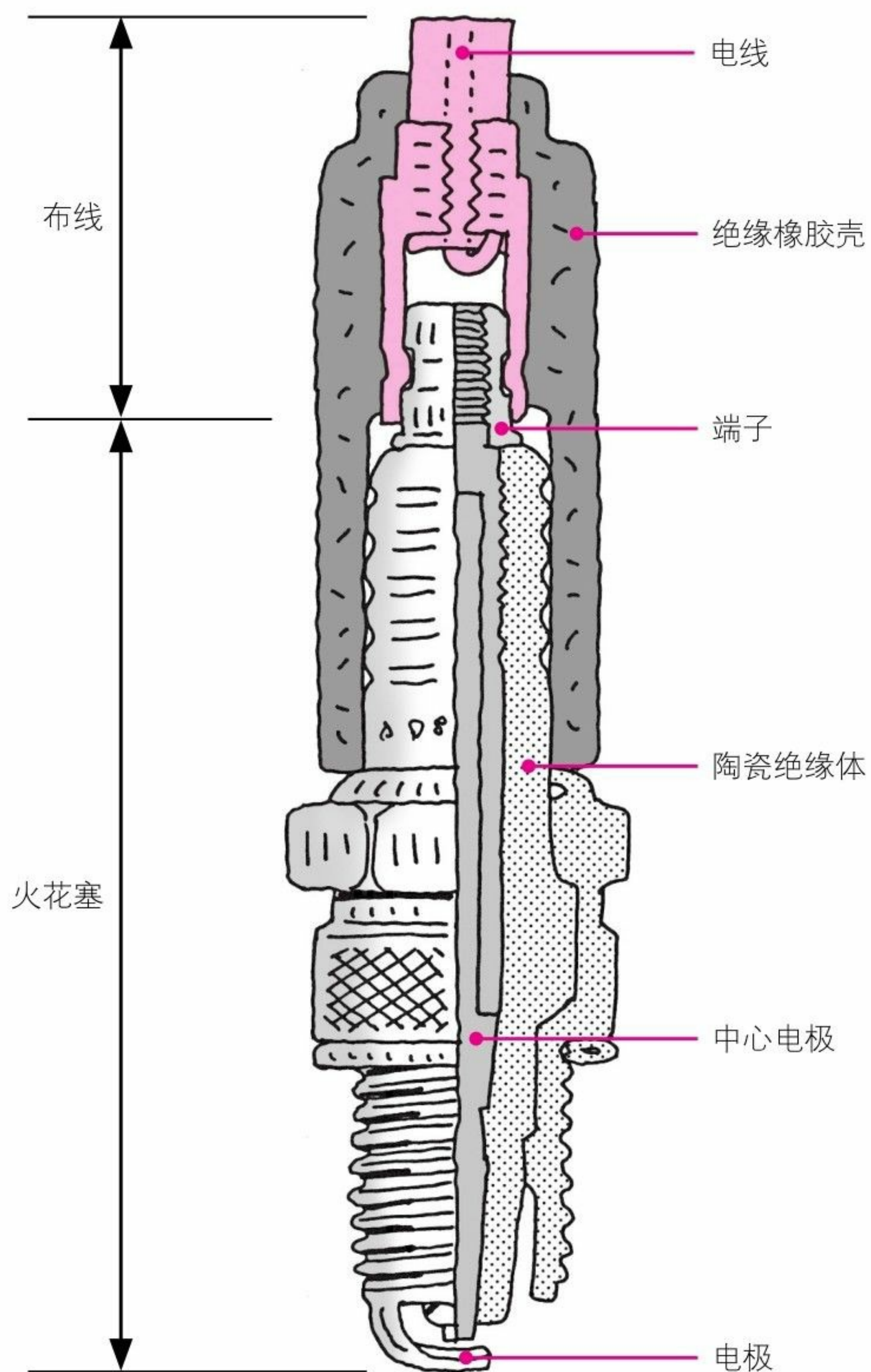

电线
布线
绝缘橡胶壳
端子
陶瓷绝缘体
火花塞
中心电极
电极

图2.8 火花塞的剖面图

空转时，汽车发动机的转速为每分钟500～600次。如果给汽车安装上发动机转速表，启动发动机后就能知道发动机的转速。加速时，为了让发动机最大限度地做功，发动机的转速甚至可以达到每分钟6000～7000次。由于在四冲程发动机中，曲轴每旋转两次就能进行一次燃烧，因此其燃烧次数就是转速的一半，即数吨的力在每分钟可产生3000次以上。

能产生如此大的力真是令人相当震撼。

2.3.2 从12伏到1万伏

在上一节中我讲到“为火花塞接通1万伏的电”，说起来轻而易举，但实际上汽车中蓄电池的电压仅有12伏。你可以回想一下图2.4中蓄电池的构造。薄铅板浸泡在稀硫酸溶液中，外面包裹着树脂外壳。每枚铅板产生2伏电，那么蓄电池中的6枚铅板就会产生12伏的电。

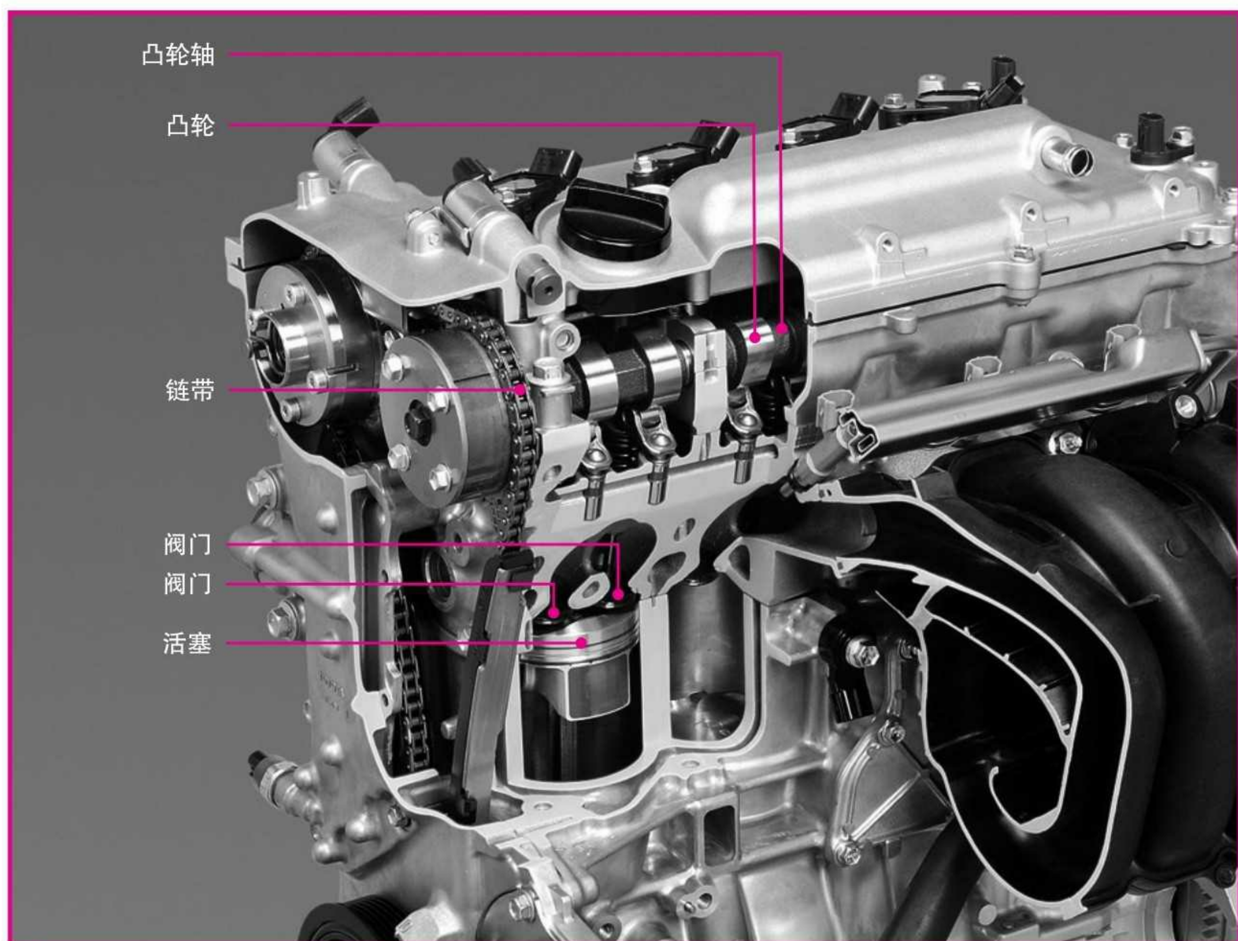
汽车中空调、音响、导航、电动车窗、雨刮器和车灯等电器的运转都是通过这12伏电进行的。并且，交流发电机发出的电也是12伏。日本的家用电压是100伏，汽车的电器所需要的电压远低于家用电压。

然而，仅用12伏是无法让火花塞的电极蹦出火花的，因此需要用线圈暂时储存蓄电池放出的电，以便在引燃时瞬间释放出1万伏的高压电。线圈是在铁芯上一圈一圈绕上电线的绕组。当储存于铁芯中的电从火花塞前端小于1mm的狭窄的电极间隙中释放出来时，就会形成火花。

这一结构利用了电的一个性质，即迅速切断电流能瞬间提高电压。大家使用家用电器的时候大概也有类似的体会。如果在电器未关闭的情况下从插座上拔下插头，插头前端的金属部分就会瞬间跳出火花。这就是因为迅速切断电流时电压会瞬间升高，和发动机的火花塞是同样的原理。

2.3.3 转动凸轮，开启阀门

下面我将讲解一个以前从没讲过的问题，即凸轮　和始终与凸轮相连的凸轮轴（照片2.3）。



照片2.3 发动机内的凸轮和凸轮轴

照片由丰田汽车提供

之前我讲过，当空气和汽油的混合气体被吸入汽缸时活塞下降，此时进气阀恰巧打开。当时你可能很纳闷活塞和阀门是如何联动的，因为当时这个问题出现在依次解释四冲程发动机的运转过程中，为了避免跑题，我就没有深入讲解下去。现在是时候仔细讲解一遍了。

在时机的契合中发挥重要作用的，正是凸轮。凸轮是控制进气阀和排气阀开闭的零件（图2.9），呈鸡蛋状，头尖底圆。当转动凸轮使其尖头的前端下压阀门轴时，阀门就会下降。当底部的圆形部分靠近阀门时，阀门就会上升。这一上下运动就带动了阀门的开闭。

凸轮数量与进排气阀的数量相同，凸轮一边转动一边下压阀门。当阀门下降到最低点时，需要借助线圈上弹簧的弹力恢复到原位。

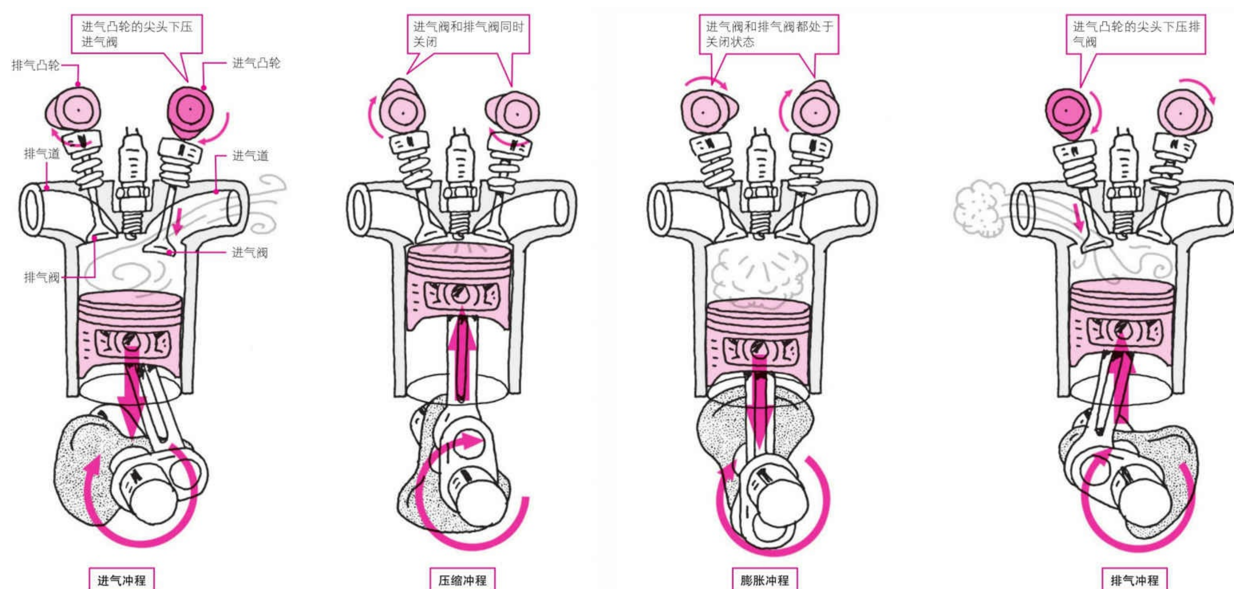


图2.9 凸轮和阀门的联动

凸轮的尖头下压时，联动阀门开启，进行进气和排气。

首先是进气。在进气冲程中，位于进气一侧的凸轮尖头部分下压，随后进气阀下降，进气道打开。此时排气凸轮底部的圆形部分与阀门轴的前端相接，从而使阀门堵住了通道。

在之后的压缩冲程和膨胀冲程中，进气凸轮和排气凸轮的尖头同时上升，此时进排气阀都处于关闭状态。最后到了排气冲程，由于排气凸轮的尖头下压，因此便开启了排气道。

2.3.4 实现凸轮与活塞联动的装置

实现活塞运动与阀门开闭联动工作的装置是曲轴。我曾经讲过，活塞的上下运动带动曲轴旋转，你可以回想一下。利用曲轴的旋转联动活塞和凸轮，就能在恰当的时机开闭阀门。

具体来说，是经由凸轮轴前端的滑轮　将曲轴的旋转传递至凸轮轴（图2.10）。所谓凸轮轴，是指并排放置多个凸轮的轴，凸轮随轴旋转。链条和传动带（或齿轮）连接曲轴和凸轮轴，负责传递曲轴的旋转。

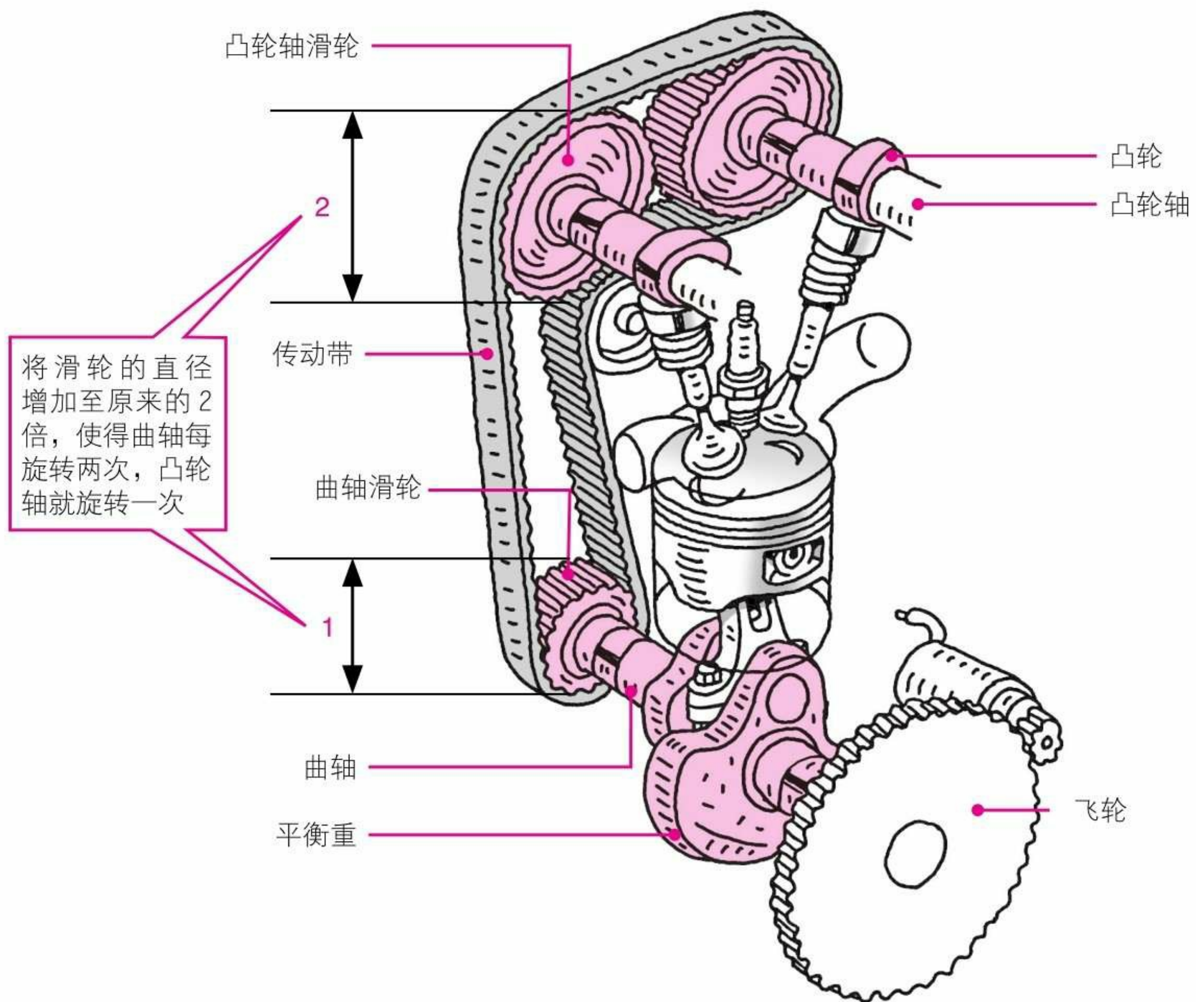


图2.10 曲轴与凸轮轴的联动

利用曲轴的旋转联动凸轮轴旋转，从而带动凸轮旋转。改变滑轮的直径，使得曲轴每旋转两次，凸轮轴就旋转一次。

为了使阀门的开闭时机与四冲程发动机里活塞的运动时机吻合，需要将凸轮轴的转速设置为曲轴转速的一半。正如我之前讲过的，之所以转速是一半，就是因为在四冲程发动机中，活塞每往复两次，进气阀开启一次。排气阀也是如此，即活塞每往复两次，开启一次。

活塞每往复两次，曲轴旋转两次。在曲轴的两次旋转中，进排气阀只开启一次。因此，只需将凸轮轴的转速设置为曲轴的一半，即可实现进排气阀的开闭。请记住：曲轴每旋转两次，凸轮轴旋转一次。

那么，怎样才能将凸轮的转速设置为曲轴转速的一半呢？其实很简单。由于曲轴和凸轮轴是通过链条和传动带（或齿轮）实现联动的，因此只需将凸轮轴一侧的滑轮（借助链条和传动带实现联动时）和齿轮的直径设置为曲轴一侧直径的量倍即可。

但是必须要错开进气阀和排气阀的开启时机。当开启进气阀、向汽缸中吸入混合气体并进行压缩时，如果打开排气阀，混合气体就会被释放出来。而当混合气体燃尽、进入随后的排气冲程时，需要随着活塞上升从汽缸中排出废气，这时就必须开启排气阀。

也就是说，如果以活塞的往复为基准，只需留出活塞在压缩和膨胀冲程中往返一次的时间，即曲轴旋转一次的时间，即可错开进气阀和排气阀的开启时机。这也意味着，为了错开开启时机，需要确保进气阀上凸轮的尖头和排气阀上凸轮的尖头朝向不同。

2.3.5 曲轴和凸轮轴还会影响引燃时机

凸轮轴还决定了火花塞跳火的时机（图2.11）。

当活塞上升压缩混合气体时，火花塞会瞬间蹦出火花。与进排气阀的开闭相同，曲轴每旋转两次，火花塞就会跳火一次。因此，火花塞的跳火速度与凸轮轴的转速都是曲轴转速的一半。

为了借助凸轮轴的旋转实现火花塞跳火，需要用到配电盘 （配电柜）。配电盘经由线圈与蓄电池相连，就像我在“从12伏到1万伏”中讲到的那样，为了使火花塞跳火从而引燃混合气体，首先要给线圈施加高电压。之后电流传递至配电盘，给火花塞通电。配电盘根据凸轮轴的旋转决定引燃时机。

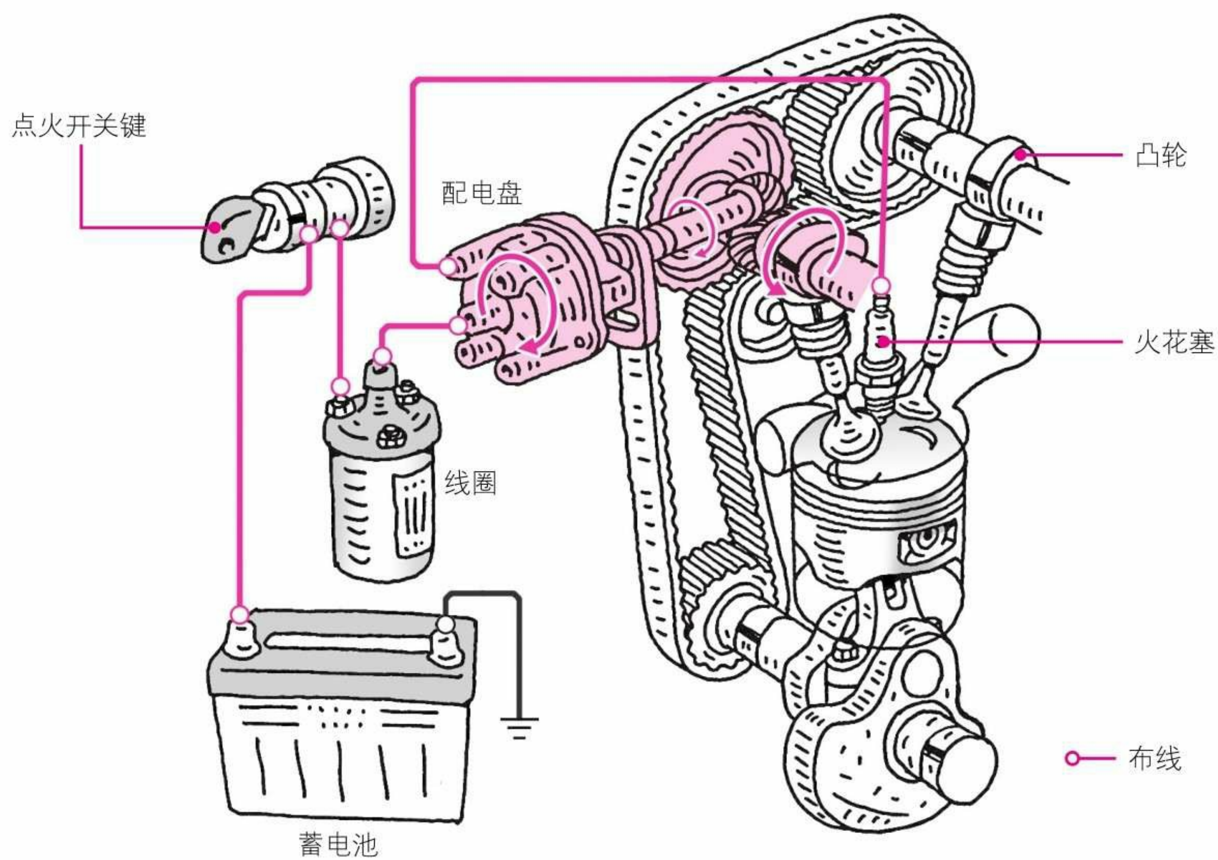


图2.11 凸轮轴和火花塞的布线

利用凸轮轴的旋转决定火花塞引燃的时机

之前为了讲解得更通俗易懂一些，我是以只有一组汽缸和活塞的单气筒发动机为例进行介绍的。实际上，汽车一般都有3～4个气筒，大的发动机甚至有12个气筒，并且每个气筒的引燃时机各不相同。因此，为了使各个气筒的火花塞适时引燃混合气体，就需要利用凸轮轴的旋转给火花塞通电。

在配电盘里侧，依环形排列着与气筒数量相同的接点。这些接点利用凸轮轴的旋转给各个气筒的火花塞提供引燃所需的电。

与进排气阀的开闭一样，点火也有适当的时机，且与阀门的开闭时机有关，因此也能利用凸轮轴的旋转。

但是近年来，无需配电盘，使用电脑控制引燃时机的方法成为主流。它通过传感器检测凸轮轴的旋转，由电脑决定火花塞的引燃时机。

2.3.6 不同形状的凸轮

之前我曾经提到过控制进气阀和排气阀开闭的凸轮呈鸡蛋形。但这些“鸡蛋”中也存在着微妙的差异，有的尖一些，有的则近似圆形。

那么为什么要改变凸轮的形状呢？实际上，凸轮所呈现的鸡蛋形状不同，发动机的特性也就不同。例如当发动机使用鸡蛋形状尖一些的凸轮来控制进气阀的开闭时，即使转速很低也能轻而易举地产生驱动力。这是因为发动机尽量充分地吸入了混合气体。

由于发动机转速低时活塞的往复运动就会变慢，因此将混合气体吸入汽缸中的吸力也会减弱，从而导致吸入混合气体的速度减慢。这时最有效的方法是尽量开启进气阀以吸入更多的混合气体，并在活塞降至下止点时瞬间关闭进气阀。

但是，虽说最好尽量长时间地开启阀门，但当活塞开始上升后进气阀仍然处于开启状态时，混合气体就会从进气口逆向流出。这时如果使用的凸轮是尖一些的鸡蛋形状，那么只要尖头转至最高点，就能立刻关闭进气阀。如果凸轮的前端稍圆一些，就只能慢慢关闭进气阀。

这样一来，即使发动机转速很低，活塞的运动速度很慢，只要能将混合气体牢牢封闭在汽缸中，就能使发动机充分发挥其作用。

另一方面，稍圆一些的鸡蛋形状的凸轮更适合转速较高的发动机。发动机转速较高时，活塞的往复运动就会加快，将混合气体吸入汽缸的吸力也会增强，从而加快了吸入混合气体的速度，这就导致流入汽缸中的混合气体的气流无法轻易被中断。即使当活塞降至下止点后开始上升时，混合气体也会趁势蜂拥进汽缸，无法中断。如果能将更多的混合气体封闭在汽缸中，发动机就会相应地生成更大的驱动力。

因此，为了将更多的混合气体储存在汽缸中，就要在保证混合气体不从进气口逆向流出的情况下，在活塞开始上升后仍然让进气阀暂时处于开启状态。这时就需要用到稍圆一些的鸡蛋形状的凸轮了。

这样看来，根据发动机转速的不同，使用不同形状的凸轮来控制阀

门的开闭，效率是最好的。这当然只是理想状态。因为给一个进气阀配备两个凸轮实在很浪费。增加零件就意味着装置更加复杂，花费更高，价格更贵。因此一般情况下，无论转速高低，都只选择其中一种形状的凸轮。

通常会选择适合较低转速的尖一些的凸轮。这是因为平常一般不会让发动机转速过快，即使是在高速公路上行驶，除加速以外发动机的转速都不会很快。

在以后讲到发动机性能的时候，还会涉及低转速发动机和高转速发动机。到时你要是能想到两者的凸轮形状也不同就好啦。

2.3.7 VTEC区别使用两个不同形状的凸轮

有些高效率的发动机搭载了两个不同形状的凸轮，并根据发动机转速的不同分别使用。1989年，本田将一种日系车厂独创的技术应用于市售车，且至今仍在使用。本田将这一技术称为可变气门正时与升程装置，即**VTEC**（Variable valveTiming and lift Electronic Control system）。

虽然搭载了分别适用于低转速和高转速的两种凸轮，但通常是用低转速凸轮驱动发动机。VTEC通过传感器检测发动机的转速和驾驶员的加速情况。当传感器检测到发动机高速运转、驾驶员急加速时，VTEC就会切换至高转速凸轮，控制进排气阀。

要使这一系统正常运转，还需要用到摇臂（图2.12）。使用一种凸轮时，凸轮直接带动阀门轴转动以控制阀门开闭。VTEC与此不同，它借助摇臂转动阀门轴，开闭阀门。由于阀门轴很细，无法承受两个凸轮的同时压力，因此，借助摇臂下压阀门轴，通过改变凸轮的形态改变摇臂的移动量，从而控制阀门的开闭。

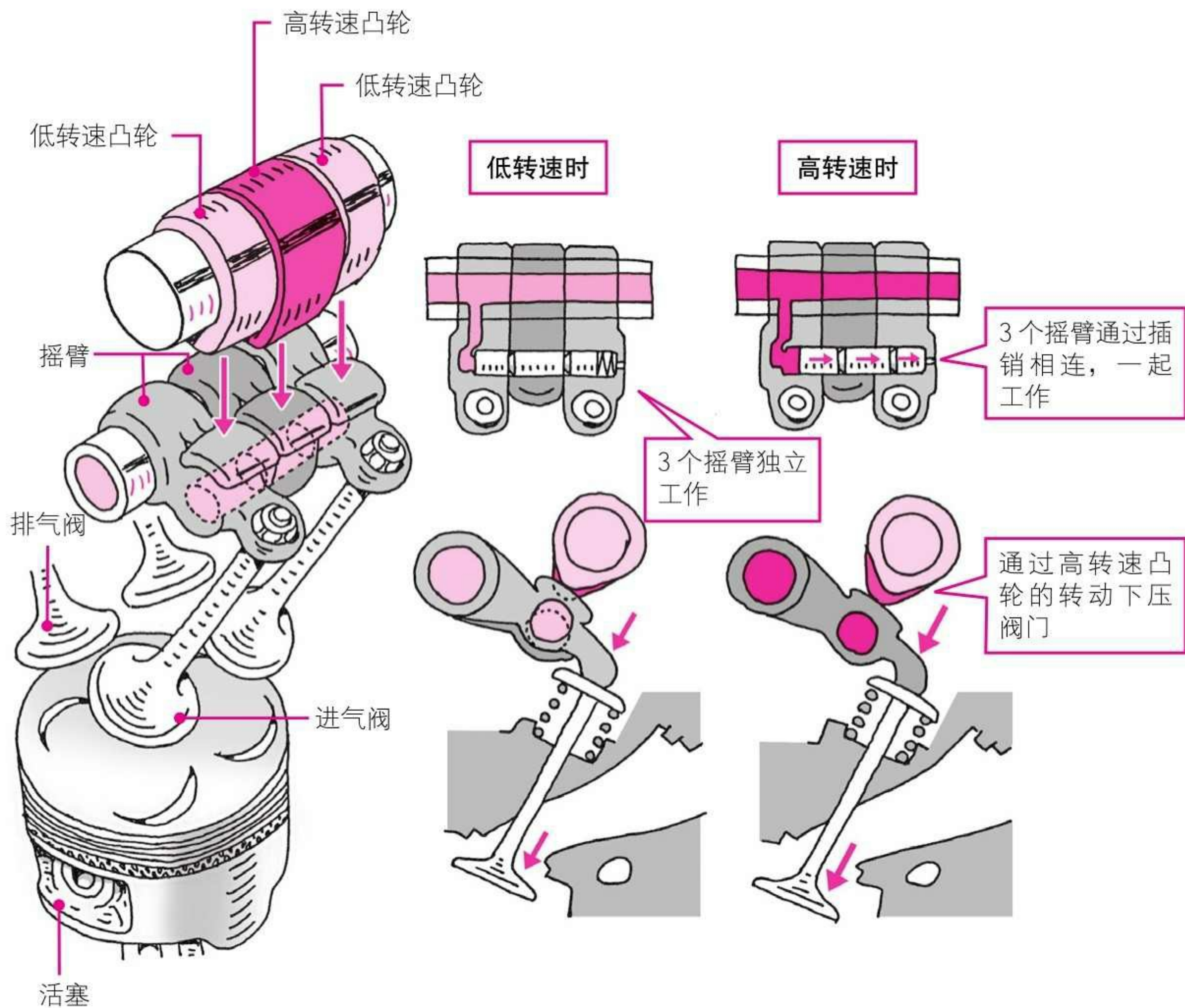


图2.12 搭载两个凸轮的VTEC发动机的结构

在高转速和低转速时区别使用凸轮。高转速时摇臂内部通过插销连成一个整体，将中间的高转速凸轮下压的力传递至阀门。

如图2.12所示，每个进气阀配备两个低转速摇臂和一个位于中间的高转速摇臂。低转速时，三个摇臂独立工作。随着凸轮轴的旋转，两个低转速凸轮和一个高转速凸轮同时转动。但即使高转速凸轮的尖头朝下带动中间的摇臂下降，也不会下压阀门。这是因为各摇臂独立运转，高转速凸轮的转动不会传递至阀门。控制进气阀开闭的是低转速凸轮。

驾驶员加速时发动机转速提高，油压迫使摇臂内的插销横向运动串联起三个摇臂，接着三个摇臂开始同时运转。此时中间的高转速凸轮的

尖头朝下，连成整体的摇臂同时下压并开启两个进气阀。由于高转速凸轮尖一些，因此进气阀的开启幅度较之前更大（图2.12的右）。

因此，在VTEC发动机中，是通过控制摇臂内部的插销来切换两种凸轮。但当发动机转速达到几千时，插销会不会很难串联起摇臂？据说此项技术的开发者也曾不太放心，但后来“试了试没什么问题”。作为一项创新技术，它也验证了“百思不如一试”的道理。

VTEC的开发体现了对发动机技术进步的追求。随后，其他的汽车生产商也开发了类似的装置以提高发动机的效率。

2.4 净化废气，减小噪声

2.4.1 废气的处理

关于发动机的结构，我们已经了解了它吸入并压缩混合气体、用火花塞引燃并使其燃烧膨胀，以及活塞会产生数吨的力等。

下面我将讲解最后的排气冲程。我将解释如何处理混合气体燃烧后遗留在汽缸中的气体残余这一问题。

物体燃烧会产生烟，汽油发动机也同样会在燃烧汽油后留下煤烟。如果不把这些煤烟排出汽缸，就无法开始新一轮的燃烧。我们把煤烟称为废烟气 （简称废气 ）[8]，把从汽缸中排出废气称为排气 。

因空气和汽油的混合气体燃烧膨胀，活塞降至下止点，随即开始上升，推动汽缸中的煤烟排出缸外。这时，排气阀处于开启状态。

从排气阀中排出的废气途经整个排气通道（图2.13）。废气经过汽缸盖上的排气道，沿着发动机外的排气管排放到大气中。排气管上安装了汽车尾气净化器 和消音器 。汽车尾气净化器是通过化学反应净化废气中的有害物质，消音器用于减小混合气体燃烧产生的噪声。这样一来，废气就能清洁、安静地从排气管的出口排出了。

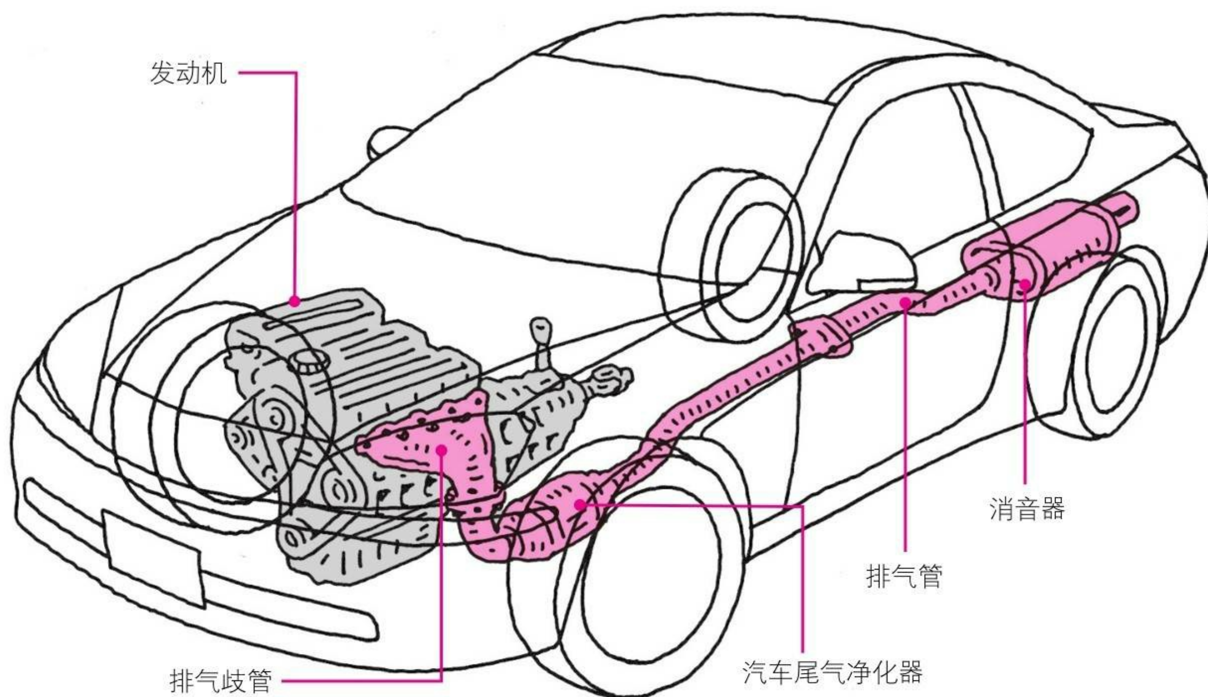


图2.13 始于发动机的排气通道

经由汽车尾气净化器和消音器排出废气

2.4.2 用贵金属净化废气

负责净化发动机排放出废气的是汽车尾气净化器，其内部被分隔为细小的格子，格子表面涂有白金、钯和铑等贵金属。这些贵金属充当了催化剂 的作用（图2.14）。

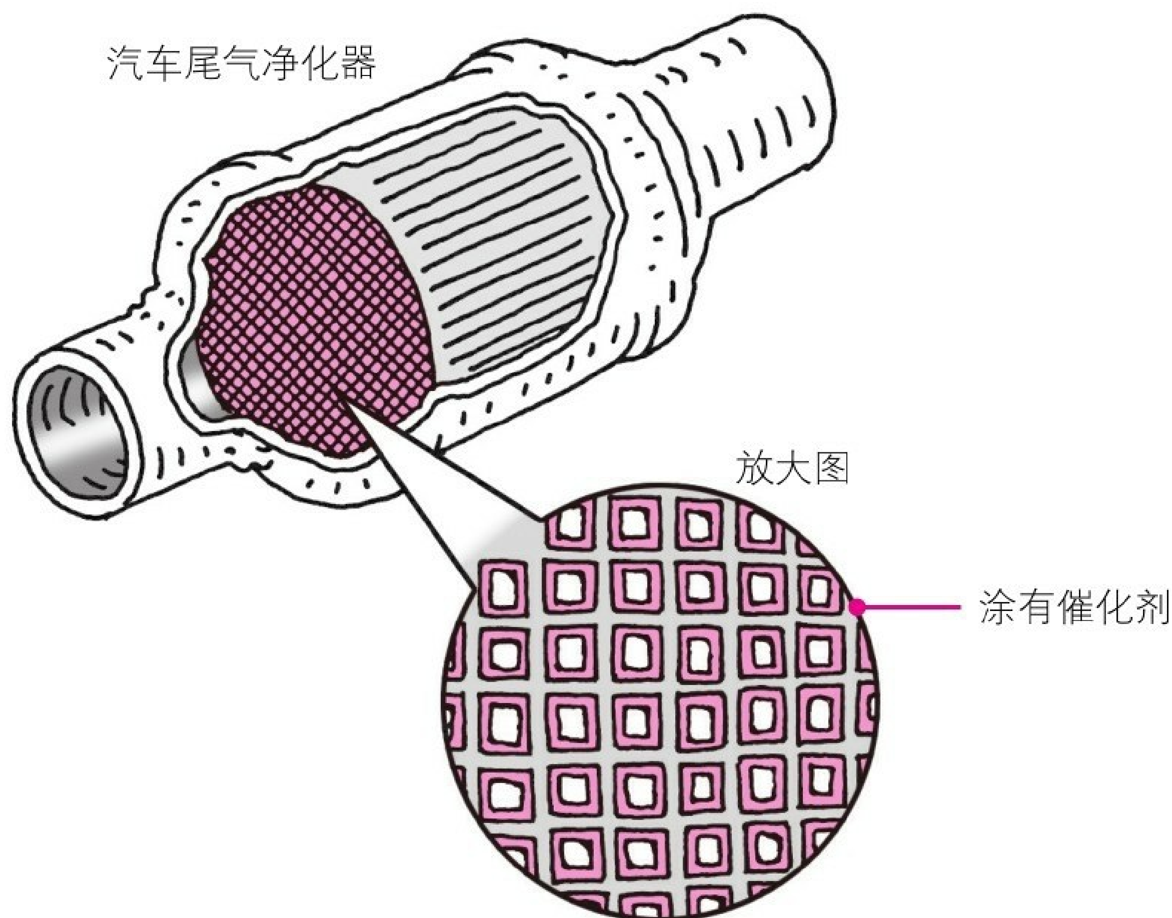


图2.14 汽车尾气净化器的剖面图

废气的通道上涂有催化剂

那么，什么是催化剂呢？其实不用想得那么复杂，只要理解成会对对方产生影响的东西就可以了。这就像在人际圈中，总有一些让人见了就高兴，能影响别人的人。遇见这样的人，我们会觉得自己也变开朗了。对废气而言，贵金属催化剂就具有这种改变气体性质的影响力。

排气量

排气量是表示发动机大小的指标，是指活塞上止点到下止点间的容积，也就等于汽缸所能吸入的混合气体的量。

活塞升至上止点时，仅留有极狭小的空间，我们称其为燃烧室 。燃烧室的容积和排气量的比，就是压缩比 。排气量决定进气量，进气量表示被燃烧的混合气体的量，也就标示着发动机所能产生的动力。排

气量不仅代表汽缸的容积，还是显示发动机性能好坏的指标，即能够表示发动机能生成多大的动力。通过比较排气量和发动机所产生的马力[9]，就能了解发动机性能的优劣。

比如，一台排气量为1000cc的发动机能够产生100马力，我们就说它的性能相当好。但也有排气量为1000cc的发动机只能产生80或90马力。这样的性能差异是由混合气体的燃烧效率决定的，而混合气体的燃烧效率又因压缩比的大小、燃烧室内形状的好坏以及带动进排气阀开闭的凸轮的不同而不同。

1000cc是1升，因此“升-100马力”也就成为衡量发动机性能优劣的一个标准。

废气中的氮氧化合物、一氧化碳和烃等有害物质一接触到催化剂，就会促成下列化学反应。

$2NO_X$（氮氧化合物）→O_2（氧）+N_2（氮）：还原反应

2CO（一氧化碳）+O_2（氧）→$2CO_2$（二氧化碳）：氧化反应

4HC（烃）+$10O_2$（氧）→$4CO_2$（二氧化碳）+$2H_2O$（水）：氧化反应

贵金属

白金即铂，与首饰中所用的铂是同一种。钯可以用于制作银牙，铑可用于白金等首饰的着色和保护。由于都是稀有金属，价格自然就很高。汽车废气的净化就使用了这些贵金属。

使用一种催化剂可以进行还原和氧化两种反应。通过还原反应，氮氧化合物分解为氧和氮，实现了无害化。一氧化碳和烃经过氧化反应生成二氧化碳和水，实现了无害化。实现氮氧化合物、一氧化碳和烃等有害气体的无害化，被称为三元催化 。

如同人有好恶一样，用作催化剂的贵金属也有好用和不好用之分。白金对一氧化碳（CO）有效，钯对烃有效，而铑对氮氧化合物有效。

这些催化剂用于汽车尾气净化器中，依次实现有害气体的无害化。

2.4.3 废气既不能过热也不能过冷

让我们再回到净化废气这一话题。为了使汽车尾气净化器更好地实现废气无害化，需要在一定程度上提高废气温度。由于进行化学反应需要高温，因此废气的温度要达到600℃～800℃。废气在进入汽车尾气净化器时要保持这个温度。

在本章讲引燃的部分，我提到：混合气体在发动机内燃烧时，气体温度会达到几千℃。因此需要先将其冷却至600℃～800℃后才能送入汽车尾气净化器。从几千℃降至600℃～800℃，是发动机将热量转化为曲轴的旋转运动的结果。

按理来讲，发动机的效率越高，废气的温度就会越低。最理想的发动机效率是可以将废气冷却至与发动机吸入的空气相同的温度。这时我们可以认为发动机将热量全部转化为了曲轴的旋转，即效率为100%。效率越高，油耗当然就越低。

但是，就像之前所说的那样，废气温度过低时，汽车尾气净化器就不能很好地净化废气中的有害物质。因此，常常要用检测氧的氧传感器测定废气中残留的氧浓度，从而推算出废气的温度。如果残留的氧浓度很高，就意味着混合气体中的汽油没有充分燃烧，也就说明废气的温度很低。因此，可以通过电脑减少或增加混合气体中汽油的含量。

请好好思考一下。油耗越低，废气温度也就越低，废气就无法得到充分净化。想要净化废气就要使废气保持高温，但这样一来发动机效率就会降低，油耗也会增加。也就是说，油耗越低，废气的净化程度越低。要实现两者的均衡是相当困难的。

2.4.4 降低油耗的稀薄燃烧

有一种技术不仅能够调节汽油浓度，还能在汽油含量低的情况下实现充分燃烧，并能保持废气温度，使汽车尾气净化器正常工作。它就是

稀薄燃烧 。

所谓稀薄燃烧，不同于之前所说的将汽油和空气均匀混合制成混合气体的方法。它只是在作为点火源的火花塞周围提高汽油浓度使燃烧易于进行，而在其余地方降低汽油浓度，是一种特殊的混合和燃烧方法。我们已经了解到理想的空燃比是14.7：1，但为了降低油耗，需要做到即使增加空气使空燃比达到40：1时，混合气体也能燃烧。

然而，空气和汽油均匀混合后混合气体的理想比率仍为14.7：1，这一点无法改变。那么如果按照40：1的空燃比均匀混合汽油和空气，通常会因汽油过于稀薄而无法燃烧。因此，稀薄燃烧就致力于只提高火花塞周围的混合气体浓度。

主要有两种方法可以实现这一目标。第一，增加混合气体的旋涡强度。这需要利用电脑模拟分析燃烧，将活塞头部设计成凹陷较为复杂的特殊形状。第二，聚集并引燃火花塞周围汽油浓度较高的混合气体。这就要利用传感器和电脑对混合气体进行仔细管理。此外，直喷中通过直接向汽缸内进行燃料喷射也易于在火花塞附近聚集汽油。

在2.2.6节中，我讲到将混合气体均匀混合时会更容易燃烧，因此可以形成旋涡充分混合混合气体。但这是针对空气和汽油混合的理想比率是14.7：1的情况。在这里，混合气体中汽油的含量变低，相反地就能利用旋涡生成一小部分浓度较高的混合气体，汽油和空气的比率在这部分混合气体中达到理想状态。即控制旋涡，将收集到的部分汽油集中到火花塞附近。

考虑到发动机对环境的影响，比起降低油耗，更应该优先净化废气以防止大气污染。因此，随着汽车数量的激增，全世界都在寻求既能降低油耗又能减少导致全球变暖的温室气体——二氧化碳（CO2）排放量的良策。这样一来，作为降低油耗的技术之一的稀薄燃烧也就应运而生了。

2.4.5 设置消音器迷宫，减小噪声

经过汽车尾气净化器后，废气会进入消音器，在这里，废气的噪声将被减小。

声音与空气密切相关。例如敲鼓时，鼓面的振动带动空气振动，从而发出声音。声音的本质就是空气振动的能量。刮风时风会发出“呼呼”的咆哮声，且风越大咆哮声越大。这是因为风迅速穿过时会强烈振动空气。

废气流速快，带动空气强烈振动，就会产生音量很大的噪声。这样看来，如果废气高速穿过排气管、引起强烈振动就会产生大音量噪声的话，降低速度就可以减小噪声。

消音器正是利用了这一原理（图2.15）。消音器的筒状外壳由金属制成，比从发动机导出废气的排气管粗很多。废气从狭窄的排气管突然进入宽大的消音器，速度就会降低。

我先解释一下为什么管道变粗速度就会下降。你可以联想一下吐气。比起缩拢嘴唇呼气，张大嘴吐气时气流的强度是不是就会减弱？相反，气流通过狭窄空间时速度就会加快。例如穿过楼群之间的风强度就很大，而经过宽阔的场所时速度就会减慢。

并且，消音器的内部结构如同迷宫一样。废气被迷宫阻拦，不得不突然改变前进方向，这样一来速度又会减慢。废气在消音器中多次被迫改变前进方向，速度不断下降，强度不断减弱，这样就减轻了振动，减小了噪声。

但是，由于迷宫过于复杂，不断袭来的强势废气就会逐渐堆积，形成阻塞，使得发动机排气不畅。因此，设计出既有适当的迷宫减小噪声，又能保证发动机顺利排出的消音器，就成为消音器设计者们竞争的焦点。

有一种方法是利用具有吸音效果的玻璃棉，既能使废气流动顺畅，又能增强消音效果（图2.15下）。顾名思义，玻璃棉就是由玻璃纤维制成的棉状的材料，具有耐热性。在废气途经的管道上留出小孔，管道周

围填充进玻璃棉。就像风穿过树林时树叶会沙沙作响一样，废气经过玻璃棉纤维时速度就会减慢。

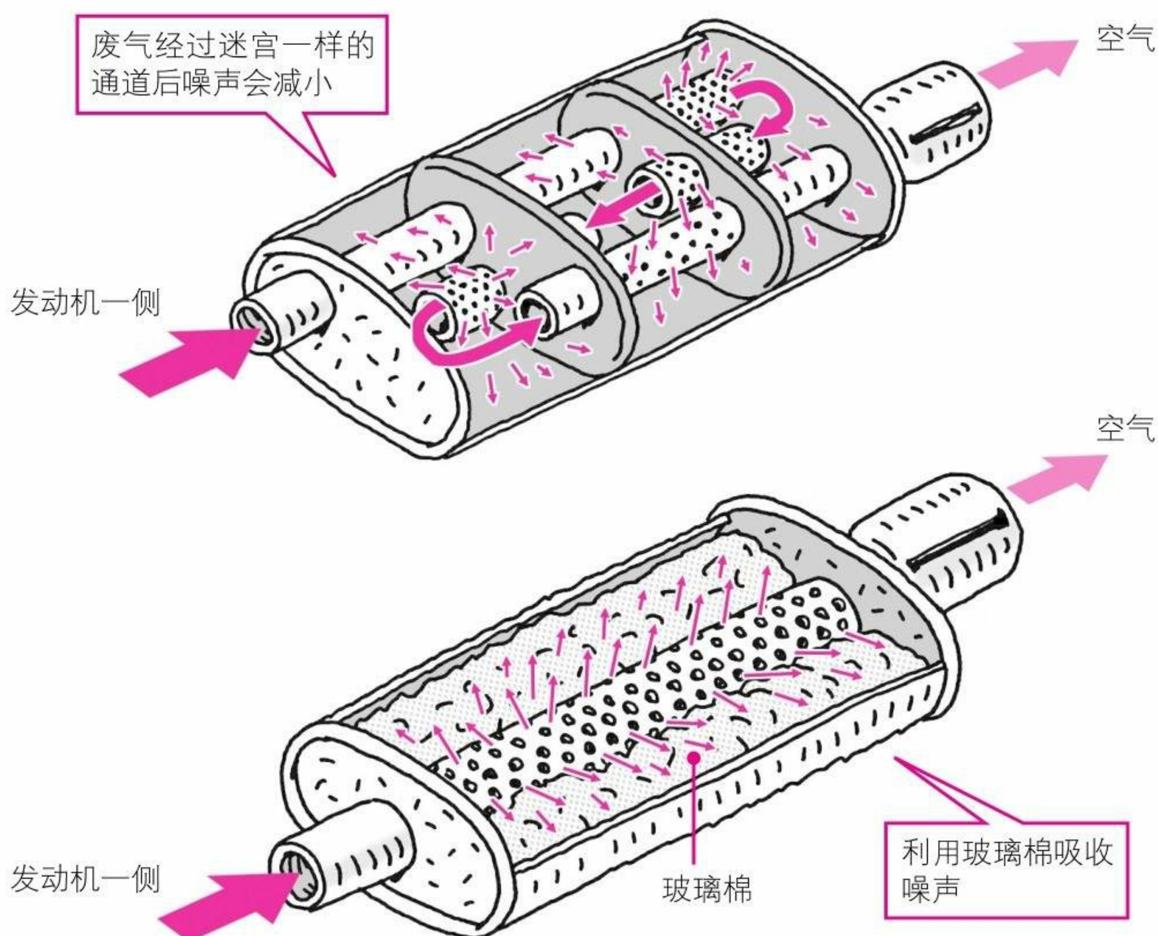


图2.15 消音器的剖面图

上图是将废气通道设计成迷宫的方法，下图是使用具有消音效果的玻璃棉的方法。

但是，很多废气不是从排气管管壁上的小孔渗透到填充有玻璃棉的排气管外的，而是径直穿过排气管，直接排入空气中。因此，比起所有废气都会经过消音器内迷宫的方法，这一方法的消音效果要差一些。但这也是不可避免的。

一方面，有人认为废气的声音很好听。但另一方面，也有人觉得废气排出不畅时发出的声音沉闷刺耳。如果能够消除这种沉闷声，就可以改善废气的音色，即使音量很大听起来也不会那么刺耳。但即便如此，

如果不把音量控制在96 dB（分贝）以下，就无法通过车检。

调整废气噪声的音量有迷宫和玻璃棉两种方法。运动消音器　使用价格昂贵的玻璃棉，应用于高价高配的跑车中。高级汽车的噪声能否更小，跑车的声音能否更加悦耳，都要倚仗消音器设计者的本领了。

2.5 改良发动机

2.5.1 使发动机运转更顺畅 改良1：多缸发动机

前面我们已经按照进气、压缩、膨胀和排气的顺序，大体了解了配备一组汽缸和活塞的四冲程发动机的结构。到这里，讲解发动机工作原理的基础部分就结束了。

但是，汽车上的发动机实际上并不是只有一组汽缸和活塞，而通常是几组并列。我们把在基础部分讲解的只有一组汽缸和活塞的发动机称为单缸发动机 。这里的“缸”就是指汽缸。

汽车发动机多拥有两个以上汽缸，现在即使是小型汽车的发动机也有三四个汽缸。我们把有两个以上汽缸的发动机称为多缸发动机。

摩托车是单缸发动机的实例，那么汽车为什么不使用单缸发动机呢？首先，汽车比摩托车重，需要更大的力。增加汽缸数量就能增大排气量，也就能产生更大的力。除了增大排气量，通过增压　也可以产生更大的力。所谓增压，是指压缩空气，将更多的空气送入发动机的方法。涡轮增压器 就是其中一种，接下来我还会详细解释。

其次，增加汽缸的数量还能使汽车行驶得更顺畅。汽缸数量增加，加速就会更快，振动也会减小，感觉会更舒适。

你可以试一下单脚骑自行车。单脚踩踏时，自行车走是走，但总是有些不灵活。如果用双脚交替踩踏，就顺畅多了，而且很容易加速。

同样，汽车有多个汽缸也能顺畅行驶。之前讲过，在汽车的四冲程发动机中，曲轴每旋转两次仅燃烧一次，因此曲轴每旋转两次才会产生一次下压活塞的力。单缸发动机虽然也能驱动汽车，但会像单脚骑自行

车一样无法顺畅行驶。如果把汽缸数量增加到两个以上，就能错开燃烧的时间，在汽缸内的两次燃烧之间再加一次，就能使曲轴不间断地旋转。在多缸发动机中，如果旋转过程多次从活塞受力，曲轴就能旋转得更加顺畅。

之前我也提到过，事实上现在的汽车发动机都不再是单汽缸，而是3缸、4缸、5缸、6缸、8缸，甚至是12缸。

2.5.2 直列发动机和V型发动机

在多缸发动机中，6个汽缸以下时多将汽缸排成直列（1列），6个汽缸以上时通常将汽缸左右倾斜排列成V字型，而6缸发动机两种排列方式都适用。汽缸的排列方式会影响汽车的形态。

直列发动机将汽缸排列成一条直线，适用于6汽缸以下。6缸发动机也可以排列成V字型，两侧分别并排3个汽缸即可，我们称之为V6发动机 。在V6发动机中，左右汽缸中的活塞都连接在同一根曲轴上（图2.16）。

左右多个活塞共同驱动一根曲轴旋转。左右各个汽缸之间前后错开，因此V6发动机的前后长度很短，大体与直列4缸发动机的长度相同。这样看来，将多缸发动机排列成V字型可以缩短发动机的全长，但宽度要大于直列发动机。

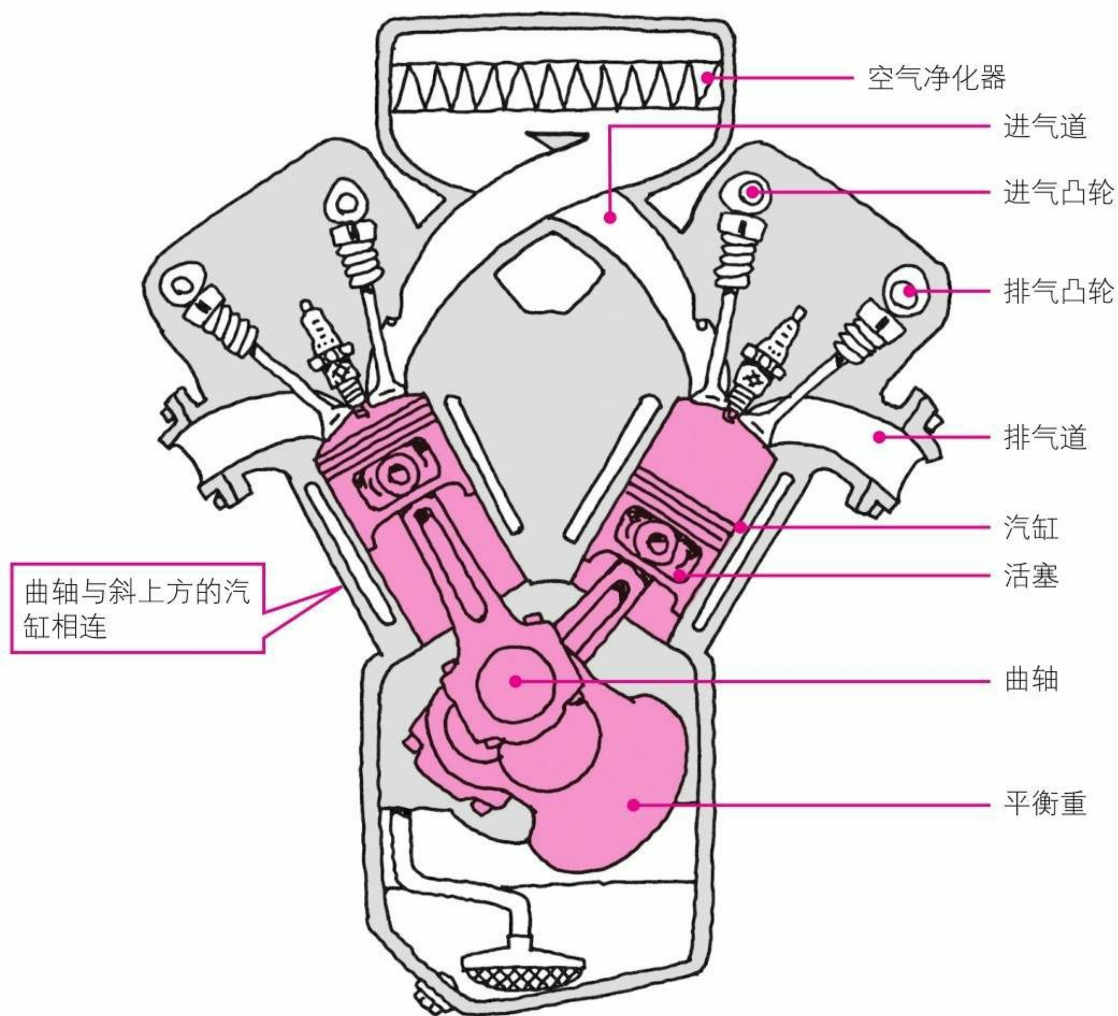


图2.16 V型发动机

中间的曲轴斜着连接汽缸

虽然搭载了多汽缸、大马力的发动机，但V字型的排列方式缩短了发动机的长度，给驾驶室留出了更大的空间。一旦遇到正面撞击，受到冲撞的发动机被迫后退，就能给驾驶室留出空间，阻挡进一步的冲撞。发动机是汽车的动力源，也被誉为汽车的心脏。同时，设计发动机时还要确保驾驶室的空间，考虑到安全因素和汽车整体形态。

那么，为什么也可以选择直列6缸呢？这是因为将6个汽缸排列成一条直线能够更有序地依次传递各个汽缸中活塞的力，以带动曲轴旋转。在6缸发动机中，曲轴每旋转120度就会带动混合气体进行燃烧，从而产

生力。

同样，4缸时是每180度、8缸时是每90度就会产生力。也就是说，当每个汽缸的曲轴每偏离90度时，就会产生力。这样一来，曲轴就很容易产生上下左右方向的振动。

由于在6缸发动机中曲轴每旋转120度，即曲轴之间偏离60度时才会产生力，因此曲轴的振动就能得到缓和。

也就是说，直列6缸发动机的振动极小，因而能够更顺畅地工作。由于其运转顺畅如丝绸，因此也被誉为丝绸**6** 。

V12发动机　两侧分别排列6个汽缸，只要将V字角度设置为60的倍数，即60度、120度或者180度，就能产生等同于在直列6缸发动机中混合气体燃烧时产生的力，因此也被看作是振动小、平衡好的发动机的代表。

高级汽车通常选择V12发动机，不仅排量大、马力大，而且顺畅平稳。

2.5.3 使发动机运转更顺畅 改良2：飞轮

为了使发动机更加顺畅地运转，第2项改良措施是在发动机后端加上飞轮 。无论是单缸发动机还是多缸发动机，都只加一个飞轮。

飞轮又叫惯性轮　，是由金属制成的较重的圆盘。你或许会问：加上这么重的圆盘，发动机不是反而更难运转了吗？

重物的确很难开始运动，但一旦开始就很难停止。你可以想象一下，想要推动一个很重的球，最初需要很大的力，但重球一旦开始运动后就很难停下。这样看来，重物都有一旦起动就难以停止的特征。

要使发动机后端较重的金属圆盘开始转动，需要很大的力。但一旦开始转动就无法轻易停止，也就是有了惯性。因此我们把圆盘称为惯性轮，英语里叫它飞轮（flywheel）。

飞轮的旋转能够带动发动机不间断地顺畅运转。

之前介绍过，摩托车多使用单缸发动机。虽然曲轴每旋转两次，发动机才燃烧一次，但这仍能推动飞轮旋转，使摩托车顺利前进。

飞轮的作用不只这个。飞轮的外缘布满了锯齿，当这些锯齿与起动机前端的齿轮相啮合时，才能启动发动机。在前面讲到过“启动发动机前先使曲轴转动”时我略过没讲的，就是转动起动机让曲轴旋转时要经由飞轮（图2.17）。并且，飞轮后连着离合器。从离合器开始是第3章动力传动系要讲解的内容。

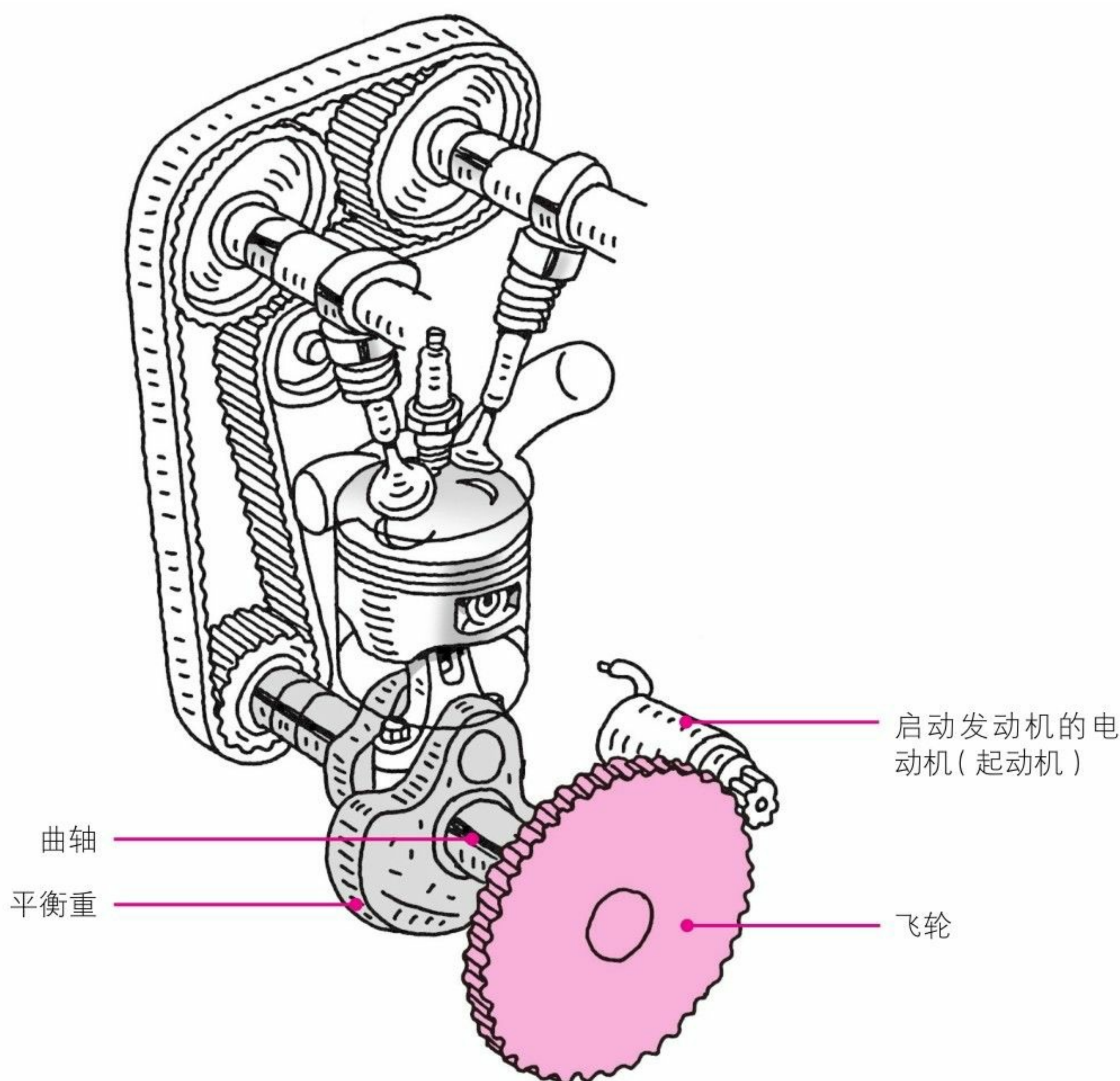


图2.17 连着曲轴的飞轮和起动机

乍一看飞轮又重又麻烦，但它实际上身兼数职，虽默默无闻但非常重要。

2.5.4 使发动机运转更顺畅 改良3：平衡重

为了使发动机运转得更加顺畅所做的第3项改良，就是嵌在曲轴上的平衡重。

我们通过之前基础部分的介绍已经知道，在曲轴的凸出部分附有连接活塞和曲轴的连杆。连杆的对面是一个秤锤（图2.18），它就是平衡

重。

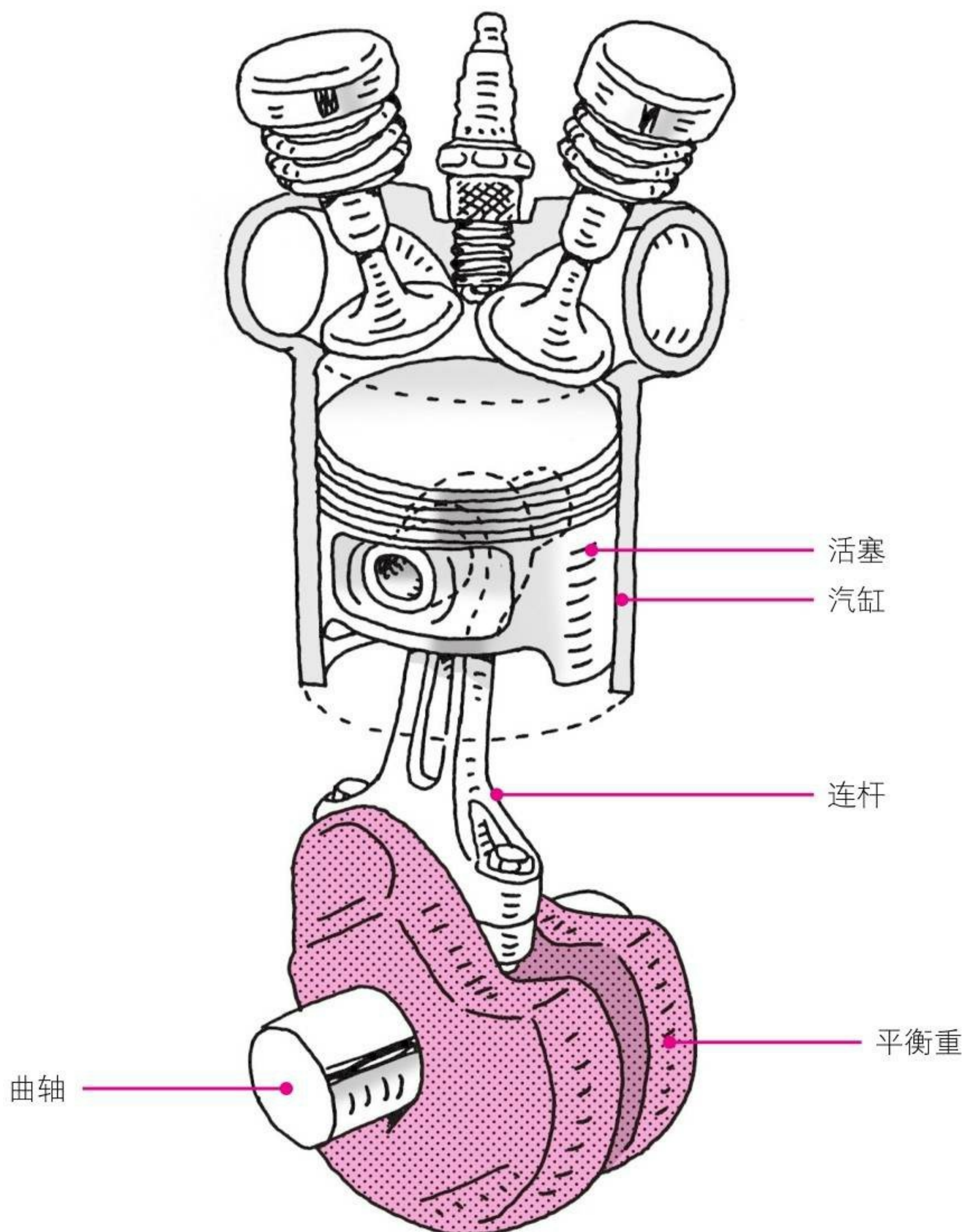


图2.18 连着曲轴的平衡重

平衡重的作用是保证与曲轴上的活塞和连杆之间的平衡。通过保持

曲轴的上下平衡，平衡重会上下振动以防止曲轴旋转。

2.5.5 使发动机运转更顺畅 改良4：机油

使发动机运转更顺畅的第4项改良是机油 。日语中所说的机油，相当于润滑油 。

之前我讲到“活塞在汽缸中往复”时，认为那是理所当然的事，但仔细考虑一下就会发现，如果汽缸和活塞之间的缝隙极其狭窄，就很有可能发生接触，这样一来活塞就无法顺畅地进行往复运动。相反，如果间隙过大，在压缩冲程中混合气体会从汽缸和活塞之间漏出。即使燃烧了混合气体，压力也会从缝隙间逃脱，无法强力下压活塞。

这时，机油就发挥了重要作用。在汽缸和活塞的狭小缝隙间加入机油，就能使活塞往复顺畅。同时，机油填满缝隙既能防止被压缩的混合气体泄漏，也能留住燃烧产生的压力。

由于机油只是跟随活塞的上下运动薄薄地涂抹在汽缸内壁，因此会随着混合气体一起燃烧。在几千摄氏度的高温以及汽油不完全燃烧后残留的煤的影响下，机油会老化或受到污染。因此需要定期更换。

机油虽然很粘稠但毕竟是液体，长期放置会向下滴落，堆积在发动机底部。因此，油泵 会吸取残留在发动机底部残油贮存盘（油盘） 里的油，向上送往各个部分。环绕在活塞边缘的活塞环 会将机油涂抹在汽缸和活塞之间（图2.19）。

近年来，多在汽缸的内壁添加细小的凹凸，使机油附着其中。原本就是为了使汽缸上下往复时不产生摩擦才制成平坦的汽缸内壁，即使有了凹凸，也只是细小到可以保证油薄薄地涂在壁面的程度。

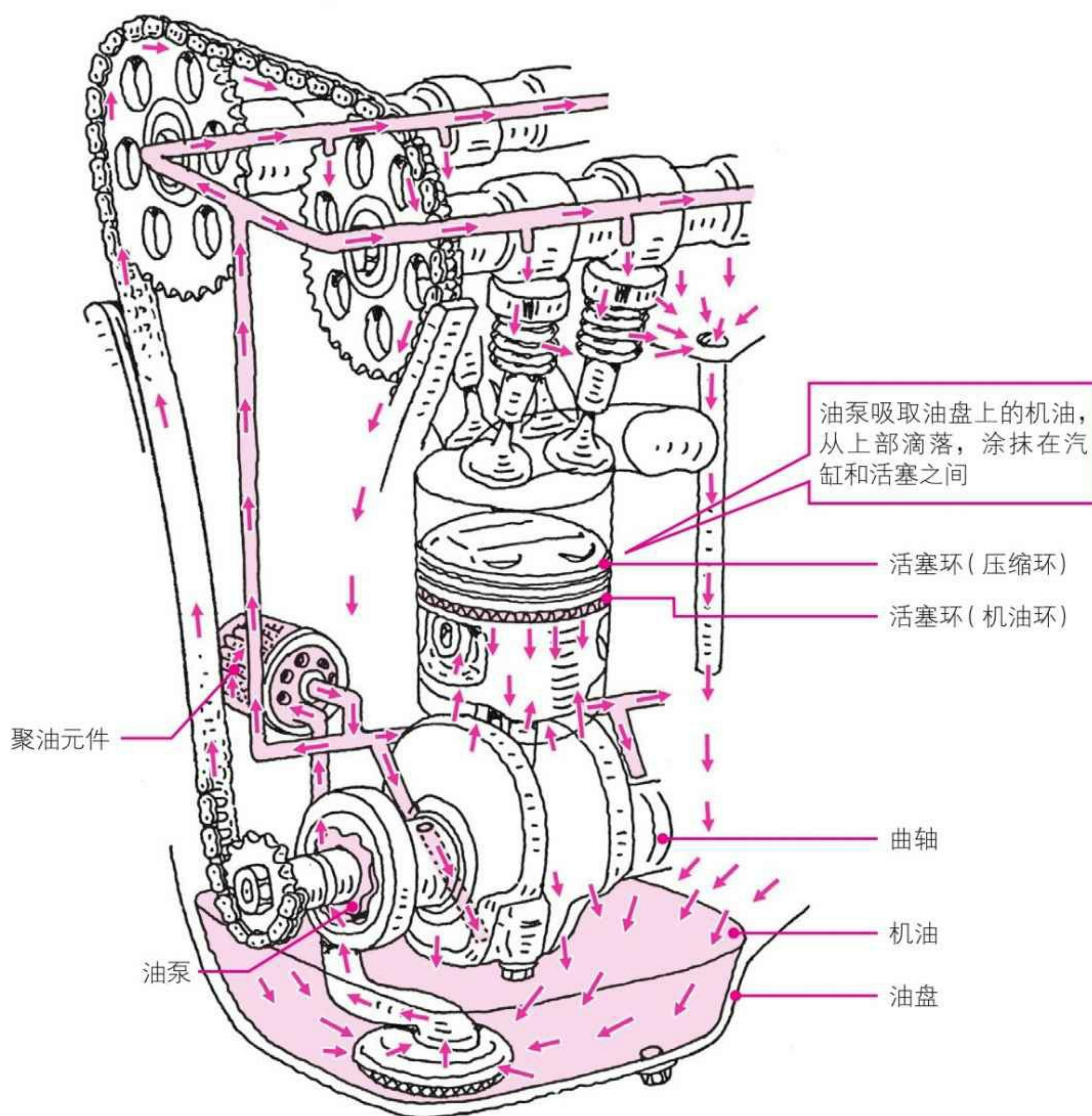


图2.19 通过活塞环将机油涂满汽缸内壁

活塞环涂抹从上部滴落的机油

由于汽缸和活塞之间总是有机油，因此即使在行驶前不进行一段时间提高发动机温度的暖机运动，汽车也能正常行驶。暖机运动最初的目的是通过使机油变热变滑，涂满发动机以防止某一部分缺油。如果不进行暖机运动，就可以减少二氧化碳（CO2）的排放。仅机油本身就拥

有润滑减磨、密封防漏和抑制二氧化碳排放等功能。

2.6 从空转到提高发动机转速

2.6.1 调节混合气体流量的油门

在第2章中，我们从点火开始，了解了发动机是如何运转的。但是此时汽车仍未发动，还处于空转状态没有前进。在接下来的第3章中，我会讲解发动机的转动传递到轮胎，以及汽车开动时的状态。驾驶员在汽车发动时踩下加速踏板，发动机就开始提高转速了。

在第2章的最后，我想讲解一下通过空转转动起来的发动机在驾驶员踩下加速踏板后是如何提高转速的。

踩下加速踏板后，负责调节发动机汽缸中混合气体吸入量的阀门就开始运作了。这个调节阀就是油门　。油门位于吸气管中，负责开闭通道（图2.20）。

发动机依靠燃烧空气和汽油的混合气体实现运转。当增加混合气体的量并增强火力时，混合气体扩展燃烧的势力加强，就会强力下压活塞，加快活塞的运动速度，即发动机转速加快。

当驾驶员踩下加速踏板时，这一动作经铁丝传至油门将其打开。接着，流经吸气管的空气量增加，汽油量也会相应增加。这样一来，发动机汽缸内就能产生很强的火力。

即使驾驶员松开加速踏板，油门也不会完全堵住吸气管，而是留一点缝隙。因为如果完全堵住，空气无法进入发动机，发动机就会停止运转。正是由于油门留出的缝隙，发动机才能继续空转。

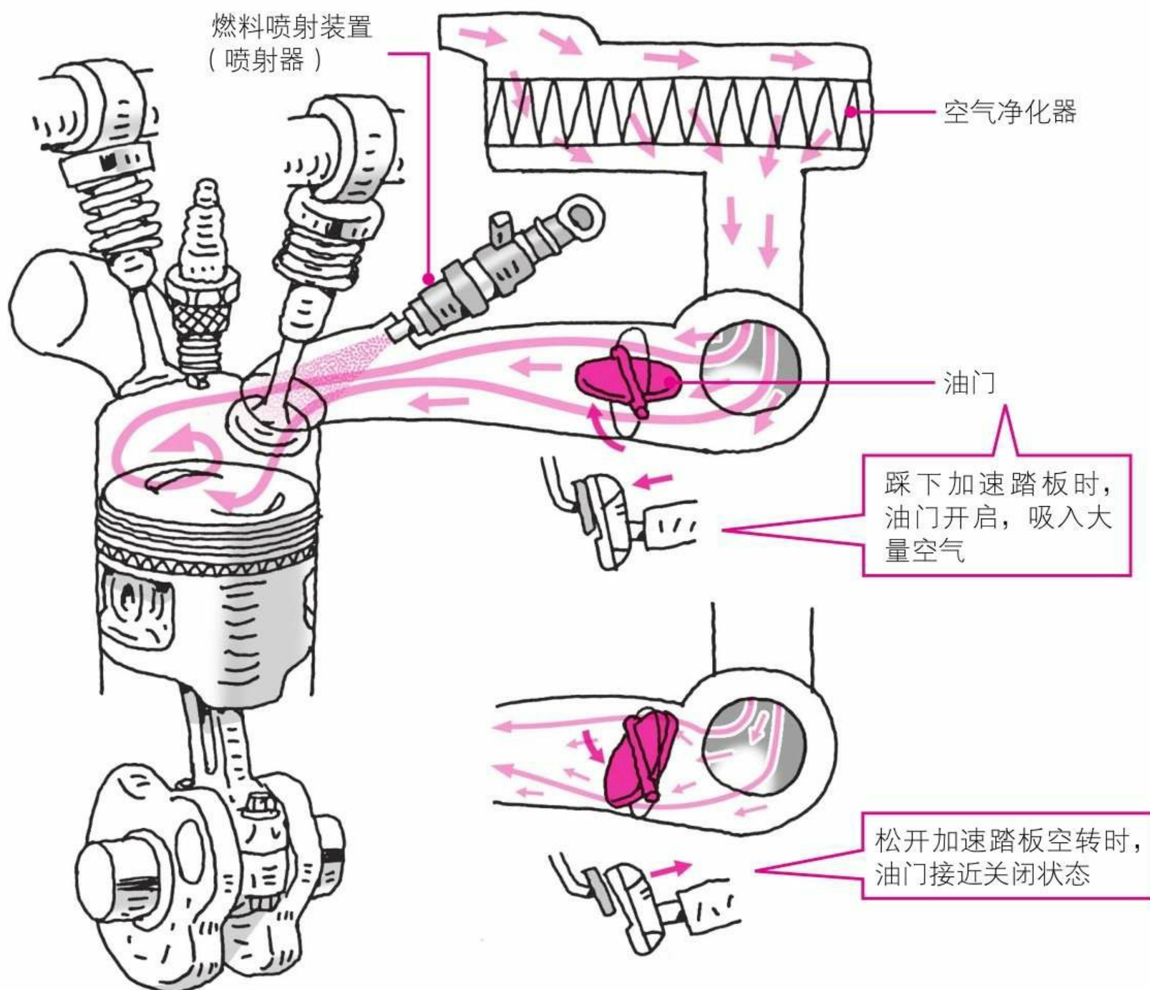


图2.20 吸气管内的油门

踩下加速踏板后，如上图所示油门打开。松开踏板的时候油门也没完全关闭。

2.6.2 用电控制空气量的线控油门

近年来，也出现了用电控制油门的方法，即通过电将加速踏板的活动传递至油门。通过使用传感器监测踏板的位移，感知驾驶员踩下加速踏板的程度大小，将位移量转化为电子信号。随后将电子信号通过电线传递至控制油门的电机，由电机控制油门的开闭。

这种方法名为线控油门　　。这里所说的线，并不是刚才提到的铁丝，而是指电线，即由电线控制的油门，也就是电控油门。使用线控油门，能够很好地兼得油耗低和加速快两方面。

例如在闹市开车，到了十字路口或遇见信号灯时需要不断重复前进和停车的动作，为防止驾驶员踩下加速踏板时油门突然打开，就需要使用电机缓慢开启油门。这样一来，汽车就能顺利开动，避免燃料浪费，也会降低油耗。

在超车等需要加速的时候，驾驶员只需轻踩加速踏板，电机即可大幅开启油门，瞬间提高发动机转速。这在仅用铁丝将加速踏板的活动传递至油门这一方法中是实现不了的。

在线控油门中，各个传感器分别检测踩下加速踏板的程度大小、踩下踏板时右脚的行动速度以及此时汽车的时速，再由电脑进行综合分析，判断汽车是在闹市区行驶还是正在超车。

如今的汽车无论是行驶中的速度，还是加减速的频率，甚至是方向盘的转动程度，都可以通过传感器检测，使用电脑进行管理。正是根据需要在这些信息中做了选择，线控油门才得以正常工作。

近年来，为抑制全球变暖，相继出台了各种法规，消费者的环境意识也在不断加强。这就使汽车面临着降低油耗这一符合现下社会的硬性要求，需要大家为此不懈努力。

2.6.3 没有油门，效率更高

为了降低油耗，汽车生产商们甚至想要拆掉油门。平时开车时，一般无需将油门踩到底，即使在高速公路上也很少如此。只有在需要急加速等极少数情况下，才会考虑是否将油门踩到底。

也就是说，平时开车时，油门的开启程度多处于停车时的空转状态和急加速时的完全开启状态之间。因此在大多数情况下油门的存在都会阻碍空气的流动。这就催生出了一种新的调节空气量的方法，即拆掉阻碍空气流动的油门，通过调整进气阀的上下移动程度控制空气量。

空转时只需吸入少量空气，因此只要稍稍下压进气阀即可。在日常行驶中，也只需将进气阀下压到中间位置。只有在需要急加速时才会将

进气阀下压至最低点。阀门的移动程度都由电脑控制。

说到这里你可能会产生疑问。之前我讲过推动进气阀上下运动的是凸轮，如果不像VTEC那样改变凸轮的形状，就无法改变进气阀的上下移动程度。

这时就需要加装一个装置将凸轮的旋转以偏离中心的状态传递至进气阀。所谓偏心，是指偏离凸轮的旋转中心。由于普通的凸轮轴无法实现偏心，因此就需要加装一个充当桥梁作用的装置，使得凸轮的旋转不同于一般的鸡蛋形凸轮。我们把这个装置称为可变阀门升程装置 。

2001年，德国的BMW公司开发出了这一装置，随后其他的汽车生产商纷纷开始使用。

你或许会想，这么好的方法为什么不早点采用呢？无论是之前介绍过的搭载低转速和高转速两种凸轮的VTEC，还是拆掉油门的方法，在设计者的头脑中都酝酿已久。但是，从精密的电脑控制和传感器技术，到将装置小型轻量化并嵌入发动机内部，再到保证这些装置的耐久性，都必须依靠成熟的技术。甚至可以说，如果成本太高，将无法应用于市售车。

发动机的讲解到此为止。在接下来的第3章中，我将介绍把发动机的旋转传递至轮胎的装置。

涡轮增压器

涡轮增压器是增压器 的一种。在发动机的进气冲程中，活塞下压会产生吸力。所谓增压，就是吸入超过这种吸力的空气。你可以把涡轮增压器看作一种用来增压的增压泵。

涡轮增压器充分利用了发动机排出的废气。废气借助活塞的上升从汽缸中排出，涡轮增压器利用这种能量启动压缩机 （增压泵），将更多的混合气体强制送入汽缸（图2.A）。

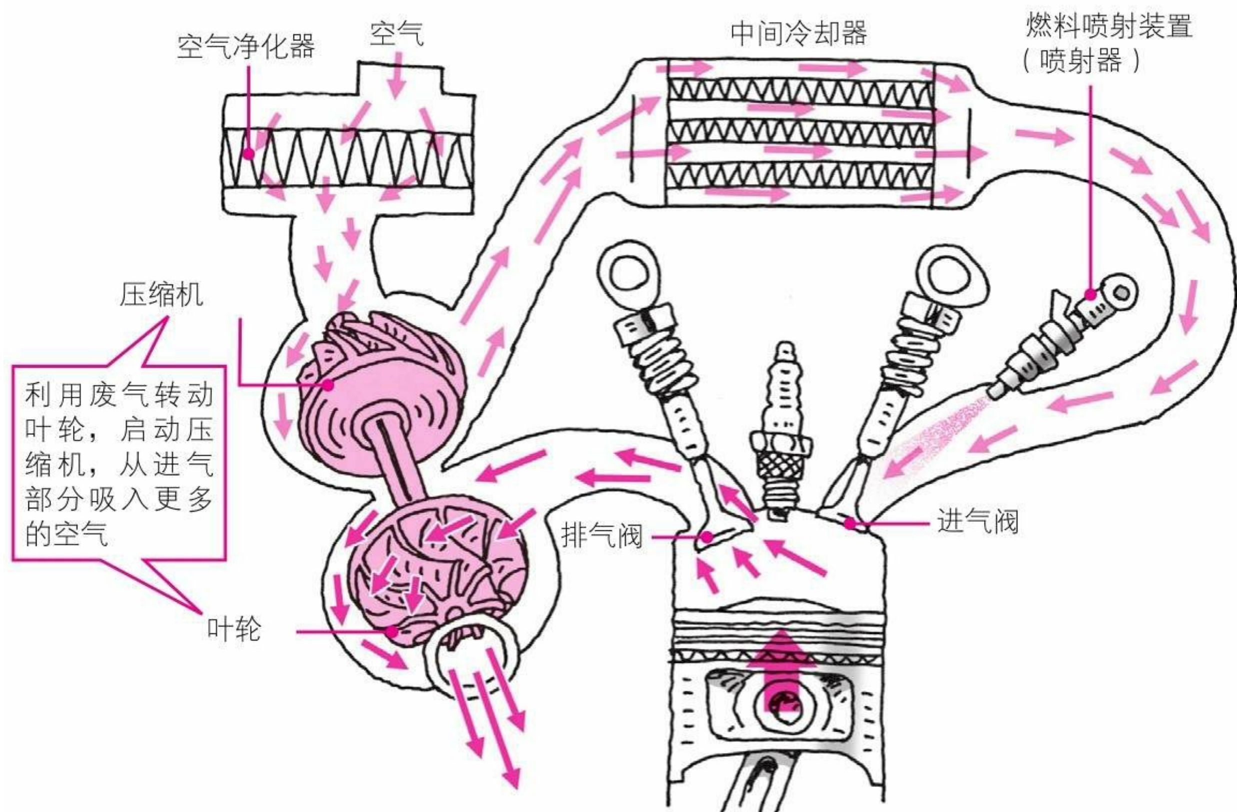


图2.A 涡轮增压器的结构

利用废气启动压缩机，将更多的混合气体吸入汽缸。

虽然发动机的排气量相同，但通过增压增加了空气（混合气体）的吸入量后，排气量也会增加。

这是因为汽缸中的混合气体越多火力越强，下压活塞的力就越大，发动机产生的扭矩也就越大。

除了增压器之外，还有一种叫做超级增压器　的增压方式。它利用发动机的力驱动增压泵，通过传动带传递曲轴的旋转，从而启动压缩机。

涡轮增压器充分利用了本应舍弃的废气，超级增压器则利用了本该驱动汽车的一部分力，这是两者的不同之处。涡轮增压器有效利用了能量，可以说是废物利用。

但是由于涡轮增压器是利用发动机排出的废气来启动压缩机的，因

此在产生增压效果前有时会有短暂的时间差。

在这方面，超级增压器更占优势。只要发动机在运转，压缩机就可以一直工作。这就意味着在产生增压效果前没有时间差，能在驾驶员踩下加速踏板时迅速做出回应。

虽然两者在提高发动机性能上不相上下，但在节能方面，充分利用废气的涡轮增压器略胜一筹。

汽车辟谣

发动机的效率真的只有**30%**？

编辑： 我听说发动机的效率不高，是真的吗？

记者： 是啊。据说如果按燃烧1升汽油产生热量生成的动力计算，汽车的效率至多只有30%。

编辑： 什么？真的有那么低？

记者： 你先别惊讶。那还只是就发动机本身来说的，还有人说汽车行驶时的效率只有20%，甚至是15%。

编辑： 看来是真的了。那全世界的汽车生产商们究竟在干什么啊！效率那么低，剩下的效率去哪儿了呢？

记者： 专家们解释说，32%转化成了废气的热量，28%用于冷却发动机，剩下的10%给了摩擦和辐射热。你见过在寒冬开车时从排气管往外冒热气吧？废气就那么热。也就是说剩余的能量被白白排出去了。散热器负责冷却发动机的冷却液，冷却液热得甚至没法轻易打开盖子，所以它的温度也是不容忽视的。

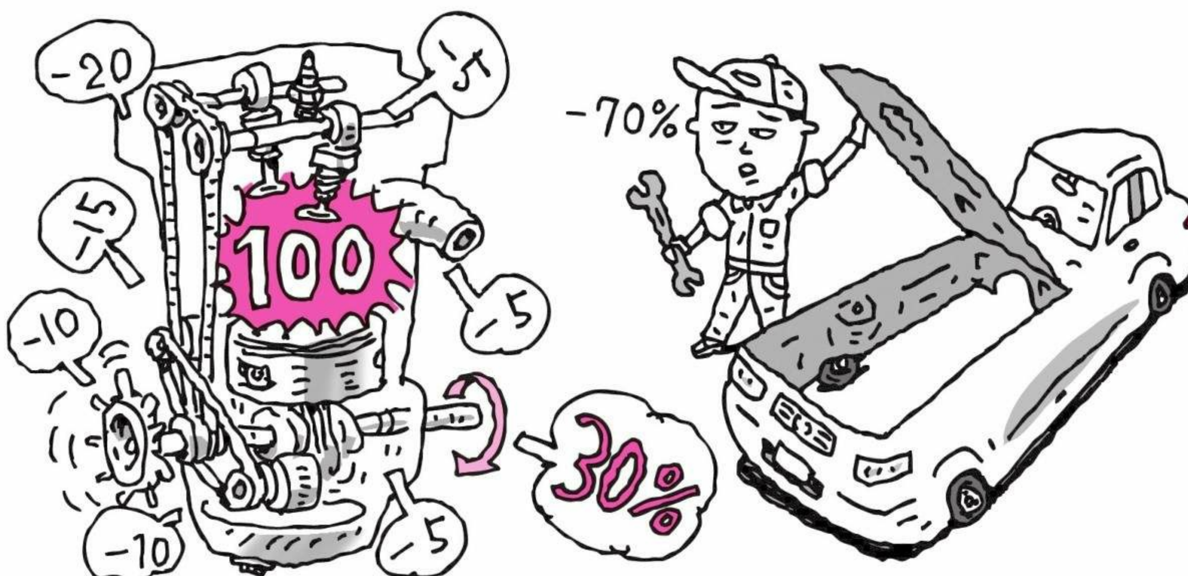
编辑： 那摩擦损失和辐射热又是什么呢？读者是听不懂你这些专业术语的。

记者： 我知道，这就给你解释。摩擦损失存在于很多地方。例如带动空调的压缩机、油压动力方向盘的助力泵、用于发电的交流发电机等都需要使用发动机的动力，各机器的摩擦也会损耗动力。再来说辐射

热，就是类似于热量从发动机本身的金属部分释放到大气中的放射热。它们都起不到任何驱动汽车的作用。

编辑：原来如此。那有提高效率的方法吗？

记者：　有稀薄燃烧。空气和汽油的理想混合比率是14.7：1，稀薄燃烧就是指利用小于这个比率的汽油量启动发动机。还有就是混合动力汽车，启动发动机以外（如空调）的压缩机时不需要借助发动机。再就是把利用发动机动力的油压动力方向盘替换成电动调节方向盘，这一方法也广泛应用在了汽油动力车上。



编辑：那全换成电动的不就好了？记者：不不，没那么简单。

编辑：别卖关子！快点告诉我结论！

记者：　你可真容易生气。电动汽车的蓄电池还是个问题，不如汽油动力车的行驶距离长。

编辑：那电动汽车还处于概念阶段吗？

记者：　小型汽车已经有实体产品了，但目前还不能把所有汽车都换成电动的。

编辑：嗯，那该怎么办呢？

记者：　说到汽车的效率，不能只考虑发动机等动力源的效率，“从

油井到车轮”（Well to Wheel）的意识也很重要。这意味着要综合看待从得到燃料到用完燃料的整个过程。人们期盼着实用且具备高效Well to Wheel的汽车快点上市，全世界的汽车生产商也在探索各种汽车的可能性，争相开发利于保护环境的汽车。

编辑： 调查得不错。别在这儿浪费时间了，还不快去写报道！

记者： 好的好的。

第3章 行驶——变速器利用齿轮改变力量

热身问答

阅读正文前，让我们先回答下面的问题来热热身吧。

问题

变速器1挡的齿轮比约为4：1。这意味着什么？

1.将发动机转速减小为原来的1/4，力量增大至原来的4倍

2.将发动机转速增加为原来的4倍，力量减小至原来的1/4

3.将发动机转速增加为原来的4倍，力量也增大至原来的4倍

答案

1.将发动机转速减小为原来的1/4，力量增大至原来的4倍

解析

变速器又称变速机、变速装置。变速箱内装有多套大小不同的齿轮组，汽车通过切换这些齿轮组来提高速度。

每一个齿轮组的齿轮比不同。如处于上面问题中的1挡时，如果把发动机一侧齿轮的直径看作1，那负责将发动机转动传递至驱动轮一侧的齿轮直径就是它的4倍。

在这种情况下，发动机一侧的小齿轮转动四次，大齿轮才转动一次。也就是说，大齿轮的转速很慢，仅为发动机转速的1/4。

为了加快大齿轮的转速，可以将发动机产生的力增加至原来的4

倍。这样一来，通过增加发动机的力，就能驱动静止的汽车。汽车的重量一般在一吨左右，大型客车要接近两吨。驱动这些汽车的力都来自于大小不同的齿轮组。

汽车一旦启动，即使很小的力量也能推动其前进。这时就要开始切换大小齿轮组进行加速。我们把这种切换称为变速。

耗费大量的力启动汽车后，需要借助加速器的变速推动汽车以更快的速度行驶。在第3章里我将详细讲解这一装置。

本章重点

在第3章中，我将依序讲解发动机产生的旋转力是如何驱动汽车的。我们把将发动机的旋转力传递至驱动轮（轮胎）的部分称为动力传动系（驱动系统）。它使发动机的旋转力依次经过离合器、变速器、万向节、差速器和传动轴，从而传递至驱动轮。请想象这样的画面：发动机的力途经像火车车厢一样排成一列的装置传递至驱动轮。

动力传动系的通道上有几个齿轮。齿轮的结构很重要，但如果你觉得它复杂难懂，可以在随后的阅读中把精力集中在如何利用发动机的旋转驱动汽车这一整体流程上。

本章看点

（1）离合器连接发动机和动力传动系

解释使用齿轮的变速器的结构。高速行驶时切换齿轮的结构是一大看点，以及最初切换齿轮时必不可少的离合器。

（2）利用齿轮自由变换发动机的力

齿轮是指在厚厚的圆盘边缘刻有锯齿，通过锯齿间的相互啮合来传递旋转力的零件。利用多组大大小小的齿轮不仅能够驱动汽车，还能使其加速。齿轮是汽车上非常重要的元素。我将解释利用齿轮进行加减速的装置。

（3）从变速器到差速器

发动机的旋转力经由变速器，到达驱动轮附近的差速器。差速器在

实现三个功能的同时，还负责推动驱动轮旋转，以驱动汽车。

（4）自动变速方式1：变矩器式

与之前所说的手动变速器不同，自动变速器可以自动切换齿轮。为了顺利进行切换，需要经过复杂的工序。在自动变换的多种形式中我将首先介绍变矩器式。

（5）自动变速方式2：自动离合器式

详细讲解自动变速方式中以手动变速器为基础的自动离合器式。

（6）自动变速方式3：CVT

CVT在变速中没有级差，因此可以使汽车平稳地加速。也能够根据实际路况进行变速，降低了油耗。在这一部分我会详细介绍CVT的结构。

3.1 离合器连接发动机和变速器

3.1.1 将发动机旋转传递至轮胎的动力传动系

在第2章中我们讲到了发动机启动，曲轴开始旋转。接下来我将解释曲轴的旋转是如何传递至驱动轮的。

驱动力只在接收发动机旋转力的轮胎上起作用。并且根据发动机旋转力所到达的轮胎的不同，驱动也分为几种不同的方式。为了让你在本书中学到一些基础知识，我就以将旋转力传递至后轮生成驱动力的后轮驱动车（FR）为例进行讲解。

当发动机启动后仍然处于空转状态时，汽车是静止的。如果是搭载手动变速器　　的汽车，下一步驾驶员就要踩下离合器踏板，拨动变速杆，从空挡变换到1挡。如果汽车搭载的是自动变速器，只要踩下刹车踏板，拨动变速杆，就可以从停车挡（P）变换到前进挡（D）。

这样一来，汽车就做好了发动的准备。接下来我将依序讲解怎样换至1挡或者前进挡。先讲手动挡汽车，再讲自动挡汽车。

在此之前，我想先介绍一下本章要讲的动力传动系。动力传动系

是一个连接发动机和驱动轮的装置组，具体来说，是从发动机开始，经由发动机后端的飞轮连接至驱动轮的部分。如第2章的图2.17所示，飞轮是一个由金属制成的圆盘，它的另一端是离合器　。在离合器之后是连成一排的动力传递通道，也就是动力传动系，依次是变速器　、万向节 、差速器 和传动轴 （图3.1）。在之后的讲解中，动力传动系中的各个装置会依次出现，请务必记住它们各自的位置。

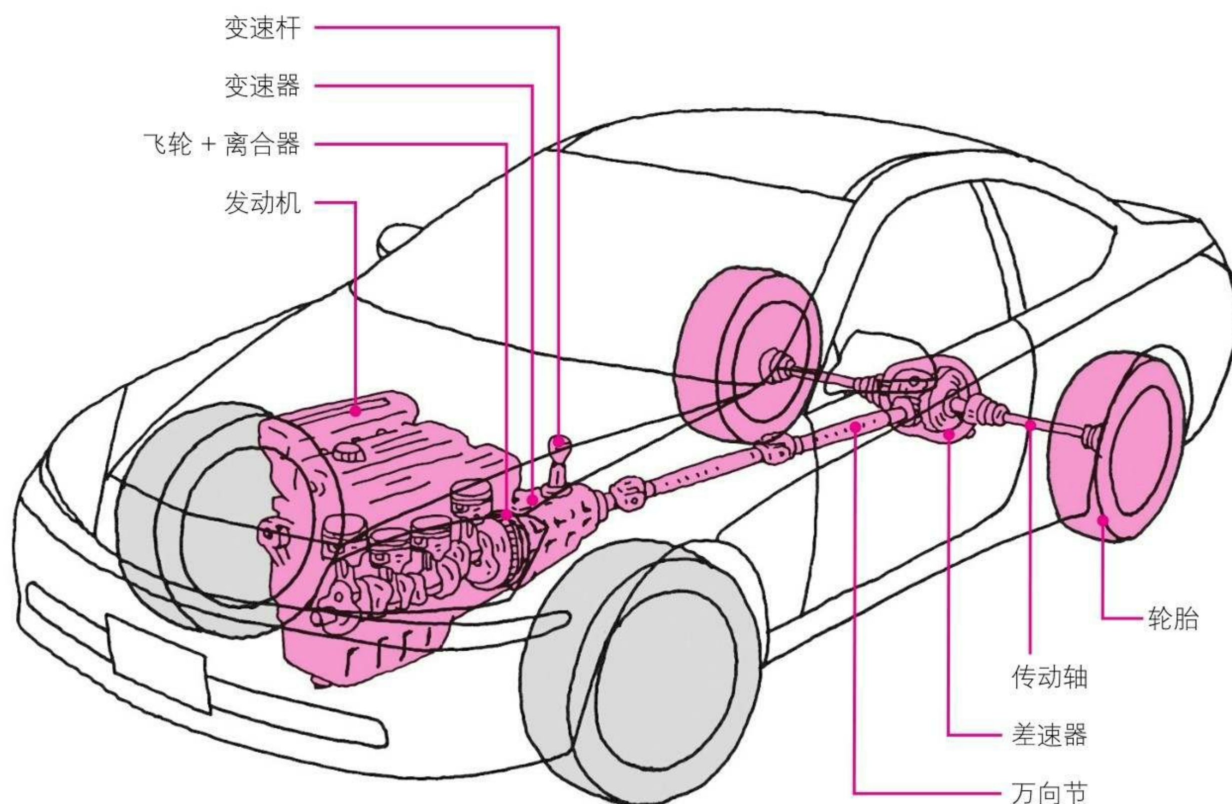


图3.1 汽车的动力传动系

3.1.2 利用离合器接合或分离变速器

再回到驾驶上来。当驾驶员踩下离合器踏板时，发动机的旋转就不会传递到变速器。松开踏板时，就可以将发动机的旋转传递至变速器。这样看来，离合器就是决定是否将发动机的旋转传递至变速器的装置。接下来我将介绍离合器的结构，以及为什么需要离合器。

离合器是用膜片弹簧 将摩擦片 压在飞轮上的装置（图3.2）。摩擦片形似面包圈，呈圆形，被膜片弹簧压接在飞轮的边缘。

虽说膜片弹簧也是弹簧，但与常见的旋涡状的螺旋弹簧不同，是一种具有弯曲形状的金属薄板，在凹陷或凸出时会产生弹力。离合器正是利用了膜片弹簧的这种弹力。当离合器的摩擦片压紧飞轮时，可以将发动机的旋转力传递到后面的动力传动系。而当离合器的摩擦片与飞轮分

离时，就无法传递发动机的旋转力。

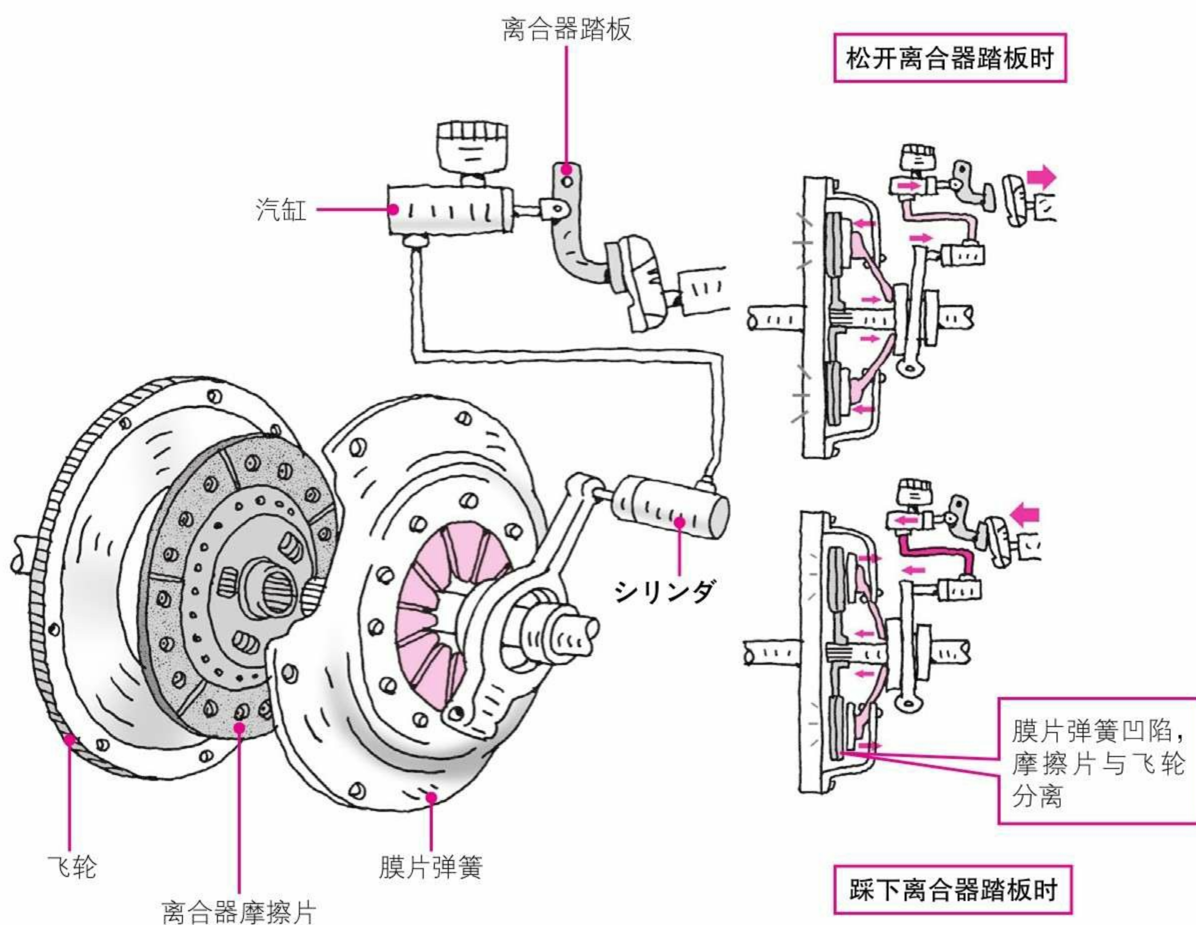


图3.2 离合器的结构

用膜片弹簧将摩擦片压在飞轮上。踩下离合器踏板时，摩擦片分离，无法传递动力。

当驾驶员踩下离合器踏板时，电线将这一动作传递至离合器的膜片弹簧，缓和了摩擦片对于飞轮的压紧力。接着，摩擦片与飞轮分离，切断了发动机输出的动力，也就无法将其传递至后面的动力传动系。

当驾驶员松开离合器踏板时，摩擦片借助膜片弹簧的力量再次压紧飞轮，发动机的旋转传递至动力传动系，此时离合器与飞轮的转速相同。这样一来，发动机的旋转就能传递至变速器了。

那么为什么要用离合器切断或传递发动机的旋转力呢？这是因为利用变速器进行齿轮变速时需要切断发动机旋转力的传递。关于需要切断旋转力传递的原因，我还会在之后讲解变速器时详细说明。

3.2 利用齿轮实现发动机的自由变速

3.2.1 利用齿轮的减速增大发动机的旋转力

发动机的旋转经由离合器传递至变速器。变速器　是增大发动机的旋转力或者加快发动机转速的变换装置。我们把减慢转速、增大旋转力称为减速 ；相反，把加快转速称为加速 。减速和加速合称为变速 。

观察变速器的内部可以发现，里面密密麻麻地排列着好几组齿轮，每组都由一个小齿轮和一个大齿轮组成（图3.3）。通过切换这些齿轮组，就能加快发动机转速，从而使汽车加速。

如果没有变速器的齿轮组，即使发动机的旋转驱动了汽车，汽车也很难在慢速和快速之间自由变换。

驾驶时将变速杆拨动到1挡，是为了在变速器的齿轮组中选择能够产生强劲动力的组合。这是因为驱动静止的车需要很大的力量。

当驾驶员拨动变速杆时，变速连杆 会前后移动，且拨叉 也会带动牙嵌式离合器　　　移动，使得1挡的齿轮组与输出轴相连（图3.3中的1挡）。接着，左边的发动机一侧输出的旋转力会首先到达下一级齿轮，经由1挡齿轮组，再回到上一级传递至驱动轮。这样一来，汽车就发动了。

在变速器内，发动机旋转力的传递之所以会途经下一级，是因为从发动机引出的输入轴和引入轮胎的输出轴高度相同，当两个齿轮啮合时，如果不先把旋转力传递至下一级，变速后输出轴的高度就会降低。不将两个轴错开放置是因为这样能把发动机和动力传动系整体设置在车身中较低的位置上。4挡时，4挡齿轮与输出轴连成了一条直线，可以直接将旋转力传递至驱动轮，不需要经过下一级齿轮。

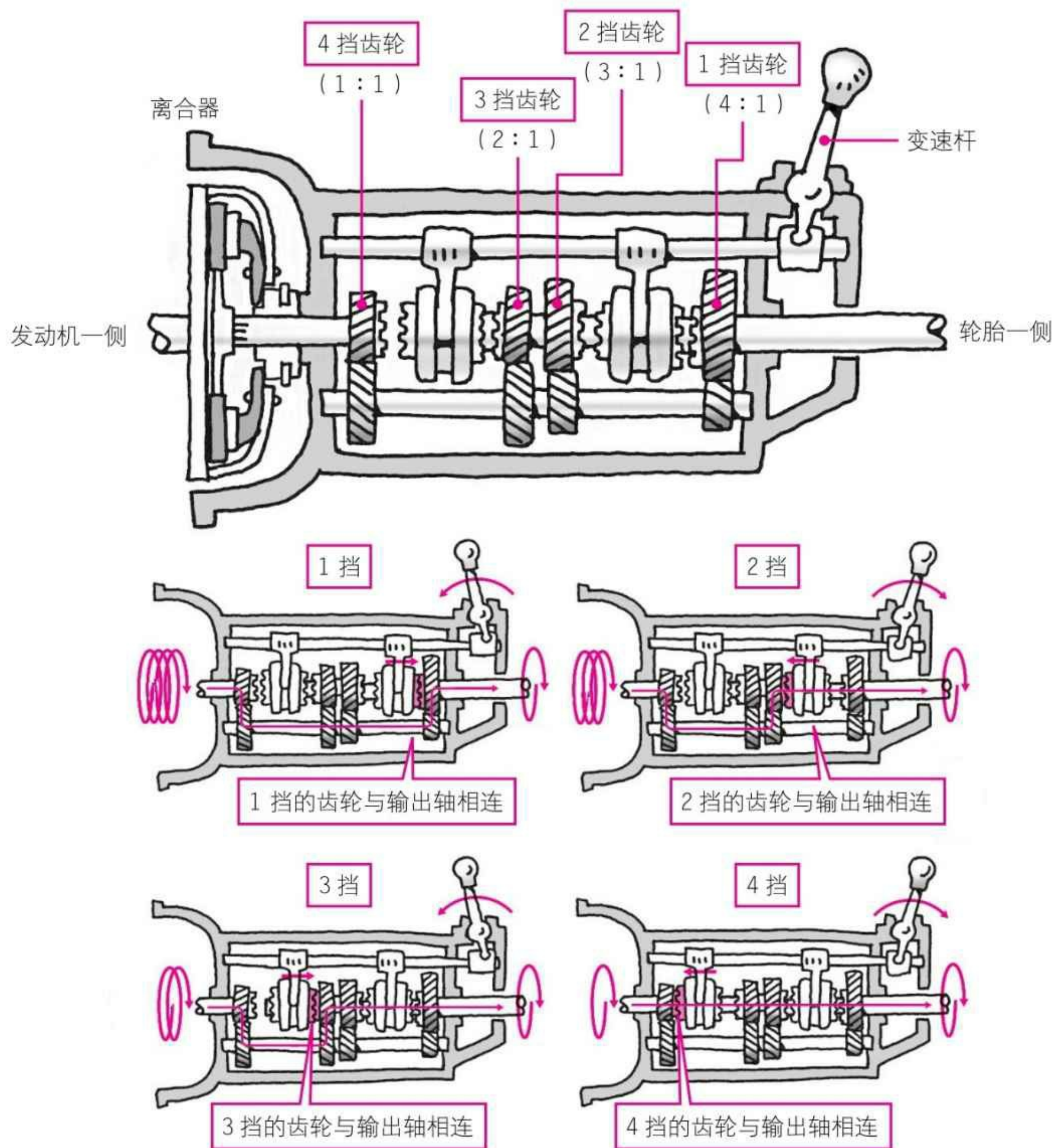


图3.3 变速器的结构

从四组齿轮组中选择一组与轮胎一侧的输出轴相连

与1挡同理，2挡时通过连接2挡齿轮和输出轴、3挡时通过连接3挡和输出轴，实现齿轮的切换。

3.2.2 变速器的齿轮将旋转力变至原来的**4**倍

为什么需要这种大小齿轮的组合呢？这是因为汽车有时需要输出动力或者输出速度，而使用大小齿轮的组合能够实现这两个目标。

车型不同，重量就不同。我们平时驾驶的小型汽车重量多在1吨以上，微型车也有800kg～900kg，一个人是无法推动的。

而小型汽车的发动机功率　　约为100马力，发动机扭矩　　约为15kg•m。15kg•m的扭矩相当于举起离自己1m远、重15kg的物品所需的力。以这样的扭矩驱动1吨重的汽车，很不可思议吧。

发动机产生的力实际上是很小的。但是如果想增大发动机的力，就需要排气量大且又大又重的发动机。这样一来，人们的乘坐空间就会变窄，汽车也会越来越重。因此，为了使小发动机也能产生强劲动力，推动汽车平稳迅捷地加速，就要充分利用变速器的齿轮组。

我们假设变速器中大小齿轮组的直径比分别为4：1、3：1、2：1和1：1。1挡为4：1，2挡为3：1，依此类推。实际上，直径比大都精确到小数点以后，我们为了方便讲解，暂且按照上述的直径比这样假设。1挡时使用4：1的齿轮，就能将发动机扭矩扩大为原来的4倍传递至轮胎。也就是说，假设发动机扭矩为15kg•m，就能将60kg•m的力传递到轮胎。

在变速器后面有一个差速器　（差速装置），也是利用大小齿轮的组合增大发动机扭矩的（之后还会讲到），其比率约为4：1。因此，通过变速器的1挡齿轮增大到60kg•m的发动机，扭矩会再增加至240kg•m，传递至驱动轮。也就相当于举起离自己1m远、重240kg的重物时需要的力。这样一来，小型汽车就能够发动了。

你可能会觉得相对于重达1吨的车，240kg•m的力有些小。但是汽车发动时并不需要举起汽车，只要驱动轮胎就可以了。因此这些力就足够了。

发动机扭矩和发动机功率

扭矩和功率都是表示发动机性能的词，你听说过吗？这里我就解释

一下扭矩和功率。

扭矩表示力的大小，以前用kg·m（千克·米）作为单位，现在多用N·m（牛顿·米）。相比之下，kg·m（千克·米）更容易解释扭矩。用kg·m（千克·米）作为单位，可以将扭矩表达为“举起离自己1米远的重多少千克的物品时需要的力”。

N·m和kg·m之间的换算很简单，两者有如下关系：

1kg·m=9.8N·m

也就是说，可以把N·m看做kg·m的约10倍。这样一来，即使汽车性能表中发动机那一项使用的单位是N·m，你也不会弄混啦。

而功率（输出功率）的单位是马力（PS）。最近，由于表示方法也在趋向国际化，所以多用表示电力的kW（千瓦）来表示功率。但因为马力与发动机的关系更密切，因此我还是想用马力来解释功率。

所谓马力，是用来表示一匹运货马在一定时间内所能搬运的货物重量，即一匹运货马所做的功，而不是指一匹马力量的大小。发明了蒸汽机的英国人詹姆斯·瓦特为了表示蒸汽机的效率提出了这一表示方式，是以当时的主要动力——马为基准的。

他将一匹运货马在1秒钟内把重达550磅（约250kg）的重物拉动1英尺（约30cm）所做的功定为1马力（HP，HorsePower）。在英国使用的磅或码在国际单位制中可以换算成1.01PS，在国际单位制中表示马力的PS是取德语中PferdeStarke（马的力）的首字母。国际单位制诞生于法国，因此也被称为法国马力。

目前作为主流的kW与马力有如下的关系：

1PS=0.735kW

比起PS，用kW表示时数值要小一些。

总之，扭矩指的是力本身，而功率是指做功量。扭矩表示爆发力的大小，因此简单来说是由排气量的大小决定的。功率表示做功量，因此它与汽车能够行驶得多快多远（即速度）有关。即使是排气量小、扭矩

小的发动机，只要能提高转速，也能够增大功率。

扭矩的大小反映出汽车能否运载大量的人和货物，功率的大小反映出汽车能否行驶得又快又远。因此，扭矩和功率就成为衡量汽车性能的重要标准。

3.2.3 变换齿轮组，完成加速

汽车能以1挡起步，但大家都知道，1挡时即使将发动机转速提到最高，汽车的时速也只能达到20km～30km。此时发动机轰鸣，喧闹不堪，你却手足无措。你肯定会想，能不能既安静又舒适地提高汽车速度呢？这就需要把齿轮切换至2挡或3挡了。

切换齿轮，就是切换变速器中的齿轮组合，也就是改变齿轮的直径比，即1挡使用4：1的齿轮组，2挡用3：1，3挡用2：1，1挡用1：1（图3.4）。4挡使用1：1的齿轮组时，发动机的旋转力就能原原本本地传递到驱动轮。

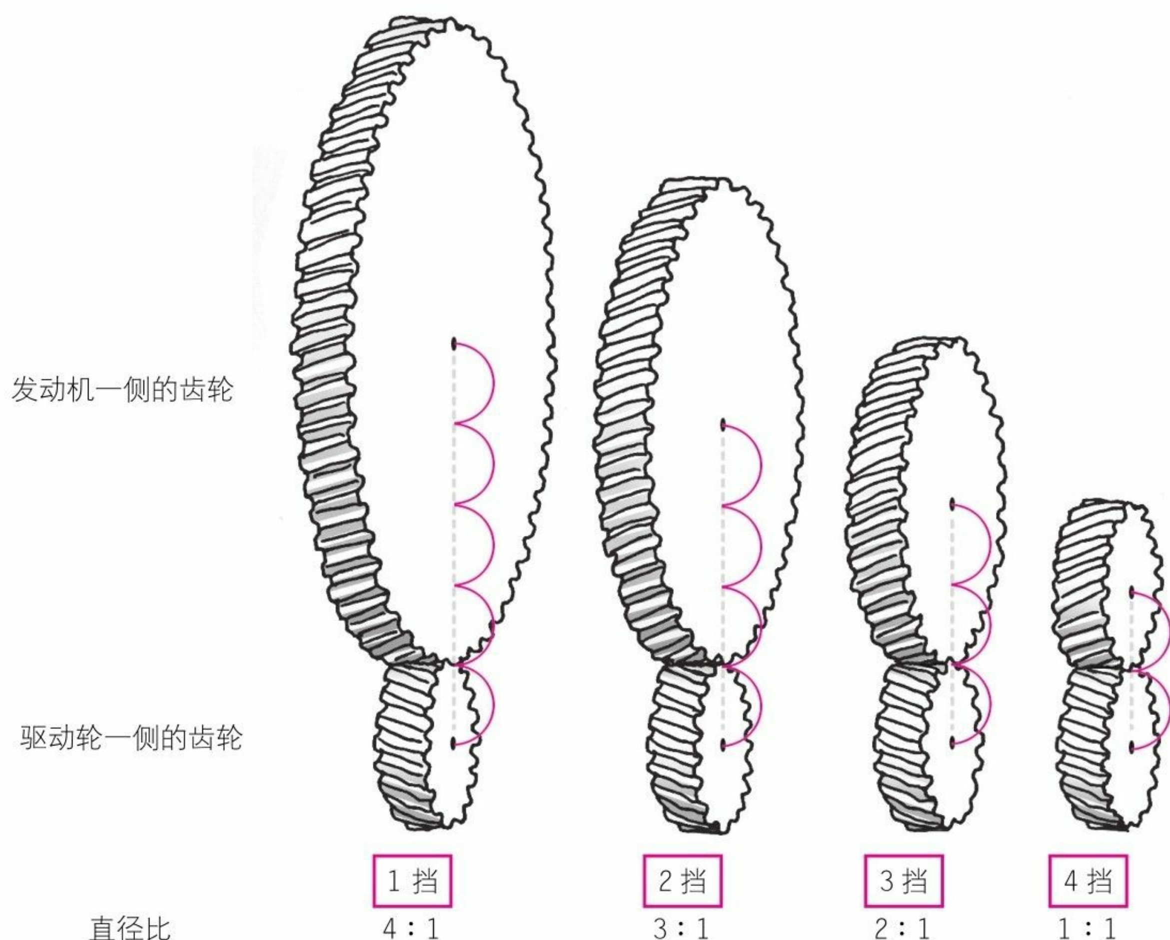


图3.4 1挡～4挡使用的齿轮组一览

刚才我讲过，1挡时发动机的扭矩增大到原来的4倍。这其实是利用了齿轮的大小比率。

如图3.4所示，1挡时虽然增大了力，但转速降至原来的1/4。这是因为旋转力从小齿轮传递至大齿轮时，小齿轮旋转一次大齿轮才旋转1/4次。因此，1挡时虽然提高了发动机一侧齿轮的转速，但传递到轮胎的转速并没增加多少，所以时速才只有20km～30km。

为了提高速度，就需要提高在驱动轮一侧传递旋转力的齿轮的转速。如果将齿轮的直径比变为3：1或2：1，使小齿轮的转速逐渐接近大齿轮，就能提高驱动轮的转速从而给汽车提速。如图3.4所示，当4挡时齿轮的直径比为1：1，两侧的旋转力和转速就相同了。变速器就是这样

切换大小齿轮组的。

读到这里，你可能会有疑问：发动重达1吨的汽车需要很大的力，那发动后就没必要增大发动机的力了吗？

我在第2章讲到发动机的飞轮时讲过一个物理原理，即重物的确很难开始运动，但一旦开始就很难停止。这就是物体的惯性力。比如骑自行车时，自行车起动后只需很小的力就能继续前进。甚至即使不用力踩脚踏板，它也能暂时保持速度不变。汽车也是如此。虽然从静止到发动需要很大的力，但一旦发动，就不需要那么大的力了。因此，汽车一旦发动，相对于力的大小，更加关注的是速度的快慢，力图通过缩小大小齿轮的直径比完成加速。

3.2.4 在所有齿轮啮合时切换齿轮

既然大家都已经了解了变速器内齿轮的作用，那么下面我就来讲一下变速器内齿轮的组合方式。

之前我讲过，汽车的变速器内排列了多组直径比不同的大小齿轮组。请再返回去看一下图3.3。

如图3.3所示，从右侧开始并排放置了直径比分别为4：1、3：1、2：1和1：1的4组齿轮组。这就是4挡变速器。

汽车的齿轮切换 ，是指驾驶员根据汽车的行驶速度选择适当的齿轮组。虽说叫齿轮变换，但并不是每次都要改变齿轮的组合，而是事先准备好成套的齿轮，因此我们称之为常啮合式变速器 。

那么，当4个挡位的齿轮组合全部啮合时，该怎样进行齿轮切换呢？

进行齿轮切换时，要先将变速杆拨动至空挡状态，这时所有齿轮组合都不与将旋转力传递至轮胎的输出轴相连，各个齿轮都处于空转状态。当驾驶员把变速杆拨动至1挡时，1挡的齿轮组合借助牙嵌式离合器与输出轴啮合相连。牙嵌式离合器虽然也叫离合器，但它不同于我在讲

解将发动机的旋转力传递至变速器时所说的离合器。

牙嵌式离合器是指两个齿轮通过像犬牙一样的啮合来相互接合的传递装置（图3.5）。1挡时，齿轮一侧（发动机一侧）的牙嵌式离合器与将旋转力传递至驱动轮的输出轴一侧的牙嵌式离合器相啮合。这样一来，1挡齿轮与输出轴相连，就将发动机的旋转力传递到了驱动轮。

每一套齿轮组合都有一个牙嵌式离合器。1挡时其他齿轮组合的牙嵌式离合器都不啮合，因此均处于空转状态。

驾驶员前后左右拨动变速杆，使得牙嵌式离合器啮合或者分离。由于驾驶员是以H形拨动变速挡，所以我们通常把变速杆的拨动方式称为**H**型换挡模式 。

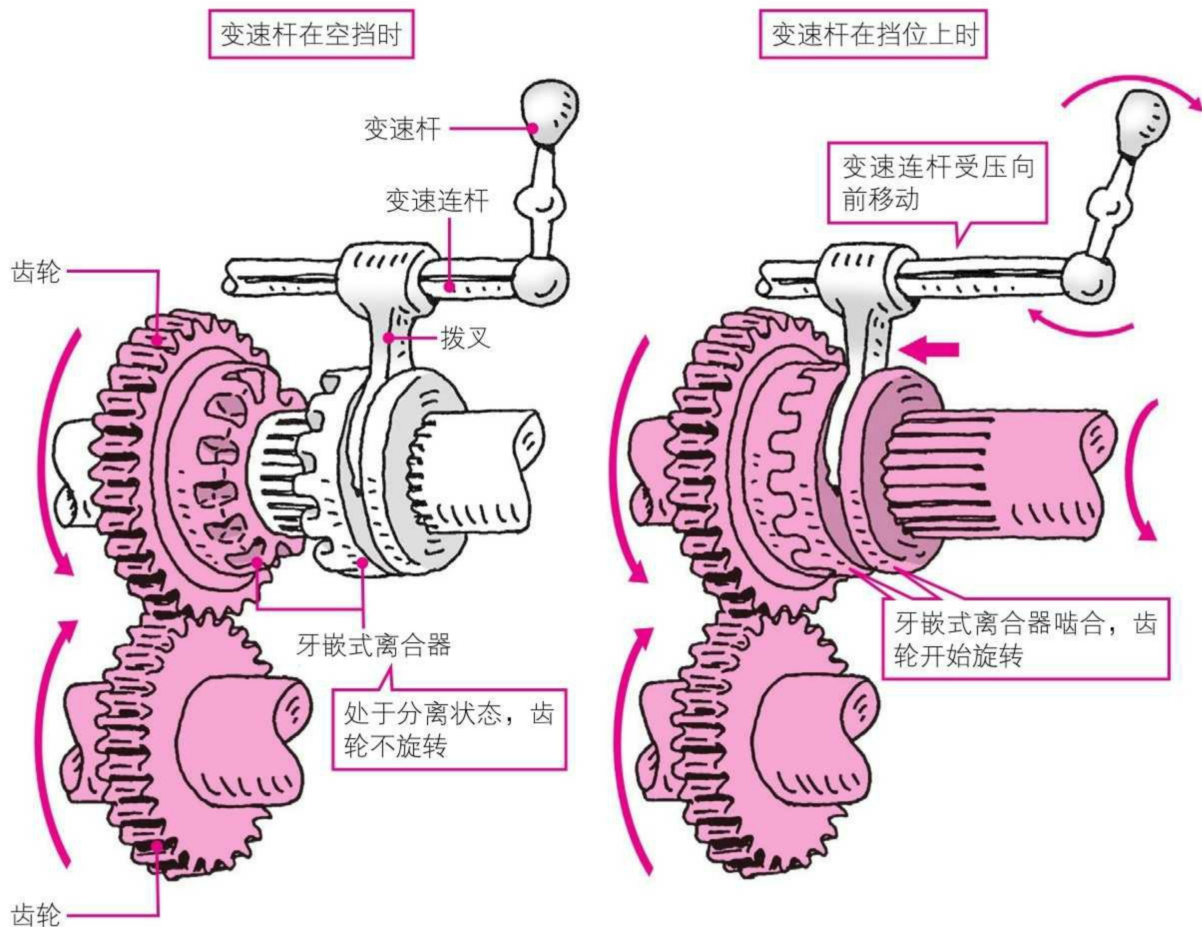


图3.5 牙嵌式离合器的结构

像犬牙一样相互啮合的传递装置。驾驶员拨动变速杆时，与所选齿轮的牙嵌式离合器啮合。

例如，从空挡向左前方拨动变速杆就是1挡，再向左后方拨动就是2挡。接着向右前方就是3挡，右下方就是4挡。

将变速杆拨动至H形的各个位置时，就会带动连接在变速连杆前面的拨叉 。随后选择与齿轮组合相对应的牙嵌式离合器，连接至与驱动轮相连的输出轴。

事先设置好齿轮的组合，通过牙嵌式离合器的啮合或分离进行齿轮切换，这样就无需每操作一次让齿轮啮合一次了。

[3.2.5 行驶中无法实现齿轮的啮合]

可以想象一下，如果没有常啮合式的变速器会怎样？作为精密零件，齿轮上锯齿间的缝隙很小，因此即使在静止状态下，都很难将一个齿轮的锯齿啮合在另一个齿轮的两个锯齿之间。静止状态下都这么难，就更不用说在旋转时让齿轮啮合了。

即使在空转状态下，发动机的转速都可以达到每分钟500～600次。在汽车发动后加速的过程中切换齿轮时，发动机的转速甚至可以达到空转时的10倍，约为每分钟5000～6000次。

我之前讲过，切换齿轮时要先回到空挡状态。空挡时发动机的旋转力不会传递至变速器，但由于惯性，变速器的齿轮还会继续旋转。在转速高达每秒钟几百甚至几千的状态下，要让两个齿轮上锯齿间的缝隙实现啮合，与其说很难，不如说是不可能的。如果强制啮合齿轮，有可能会损坏齿轮上的锯齿。齿轮上的锯齿非常纤细精巧，如果损坏程度过大，汽车就无法行驶了。

因此常啮合式变速器应运而生了。它备有几组大小不同的齿轮组合，可以根据需要进行切换。当然了，即使是牙嵌式离合器，在高速旋转中进行啮合时也可能造成其锯齿的损坏。但牙嵌式离合器的啮合部分是单纯的凹凸形状，且所有的凹凸都是同时啮合，这就降低了锯齿损坏的风险，不会导致汽车无法行驶。

对于汽车来说，单单保证高性能是不够的，还要增强耐久性以确保几万公里的行驶，同时要致力于降低其维修保养费。

3.2.6 利用同步啮合装置实现精准啮合

接下来我想讲解一下离合器的作用和同步啮合装置。这里所说的离合器，不是变速器内部的牙嵌式离合器，而是连接在发动机后端、利用飞轮和摩擦片的关系，负责切断或传递发动机旋转力的装置。就像我之前讲的一样，利用离合器回到空挡状态时，发动机的旋转力就暂时无法传递到变速器了。驾驶员踩下离合器踏板使发动机暂时停止向变速器传

递旋转力后，就要拨动切换齿轮的变速杆切换齿轮组合了。

通过离合器使变速器内的齿轮处于空转状态后，就可以利用牙嵌式离合器进行齿轮切换了。但是即使是在空转状态，也很难啮合旋转中的牙嵌式离合器。

因此同步啮合装置　诞生了。同步啮合装置通过实现牙嵌式离合器的转速同步，使其能够更轻易地相互啮合（图3.6）。它拥有形似冰激凌蛋卷、有斜面的圆环形的同步器　，负责平稳实现齿轮一侧和输出轴一侧牙嵌式离合器间的转速同步。通过圆锥形斜面的慢慢接触，实现相互间转速的同步。

同步是同步化（synchronize）的略语。就像在花样游泳中（synchronized swimming）几个人和着音乐游泳一样，同步啮合装置实现了齿轮切换时齿轮与输出轴转速的同步。利用倾斜的圆锥形锁环实现同步，使得牙嵌式离合器平稳啮合。

此时如果踩下离合器踏板，即处于空转状态。即使齿轮和输出轴在旋转，也无法传递动力，因此此时可以互相调整转速。这样看来，常啮合式结构、牙嵌式离合器和同步啮合装置都是服务于齿轮组合的。

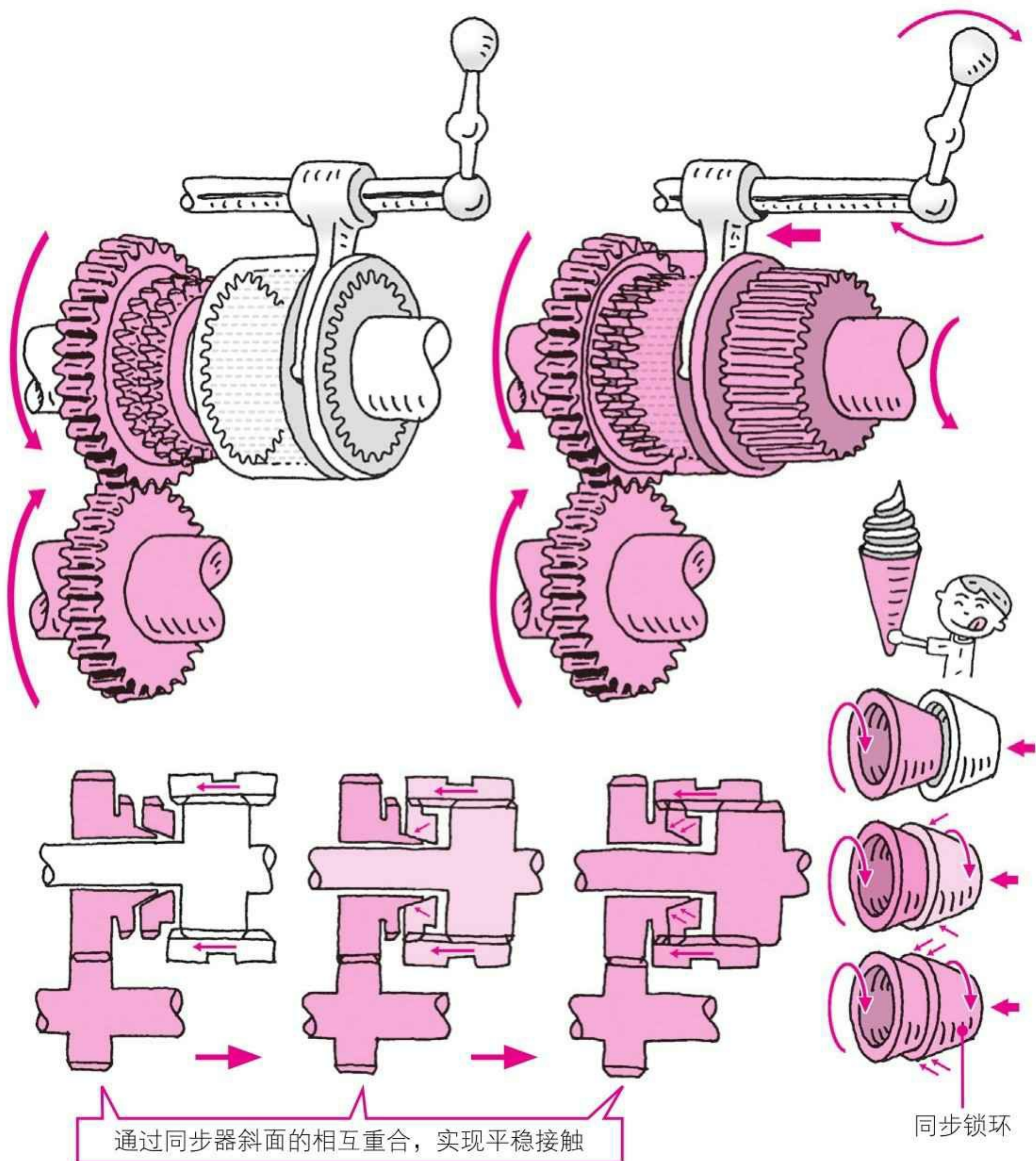


图3.6 同步啮合装置的结构

通过实现牙嵌式离合器的转速同步，使其更轻易地相互啮合。如图所示，它有坡度，也就能平稳地实现同步。

3.3 从变速器到差速器

3.3.1 将发动机的旋转力传递至万向节

利用变速器的齿轮增加了发动机的旋转力之后，旋转力经由万向节

传递至差速器　　，差速器再将发动机的旋转力分配给左右驱动轮（轮胎）。

万向节负责将发动机的旋转力从变速器传递到差速器。如图3.1所示，变速器位于车身前端的发动机一侧，后轮驱动车（FR）的差速器位于车身后端。用于连接前端变速器和后端差速器的就是万向节。

万向节是直径10cm左右，是中空的钢管，质量轻且结实。你可以联想一下竹子。竹子是中空的，但比起树枝既轻又很难折断，与万向节类似。

万向节上有接点，是将一段一段的铁管连接在一起使用的。如果使用一根长管连接变速器和差速器，就容易因旋转力产生振动，因此万向节上设置了接点以防止这一现象的发生。挥舞手里的长棍时，长棍往往会左右晃动，而短棍则很难左右晃动。同样，把短管连接在一起就可以防止振动，平稳地将旋转力从加速器传递至差速器。

然而，跑车等使用的万向节不是由钢、而是由碳纤维制成的。碳纤维既强韧又比钢管轻，制成的万向节甚至可以单手举起。碳纤维还常用于制作高尔夫球棒和鱼竿，我想很多人都体验过它的轻巧和强韧。万向节越轻巧，就越能平稳地传递高速的旋转，也容易降低油耗。

3.3.2 将旋转力从差速器传递到左右车轮

发动机的旋转力通过万向节传递至差速器。包括把旋转力传递到左右车轮在内，差速器共有三个作用。

第一个是已经介绍过的把旋转力传递至左右车轮。第二个是再次增加由变速器增加过的发动机旋转力。第三个是转向时改变左右车轮的转速。接下来我们就详细了解一下这三个作用。

差速器的内部纵横排列着圆锥形的齿轮（图3.7），我们把这些圆锥形的齿轮称为伞齿轮　。发动机的旋转力依照发动机→离合器→变速器→万向节→差速器的顺序被传递到汽车的前后方向，通过纵横排列圆

锥形的伞齿轮，差速器就能改变传来的旋转力的方向并将其传递到左右车轮。

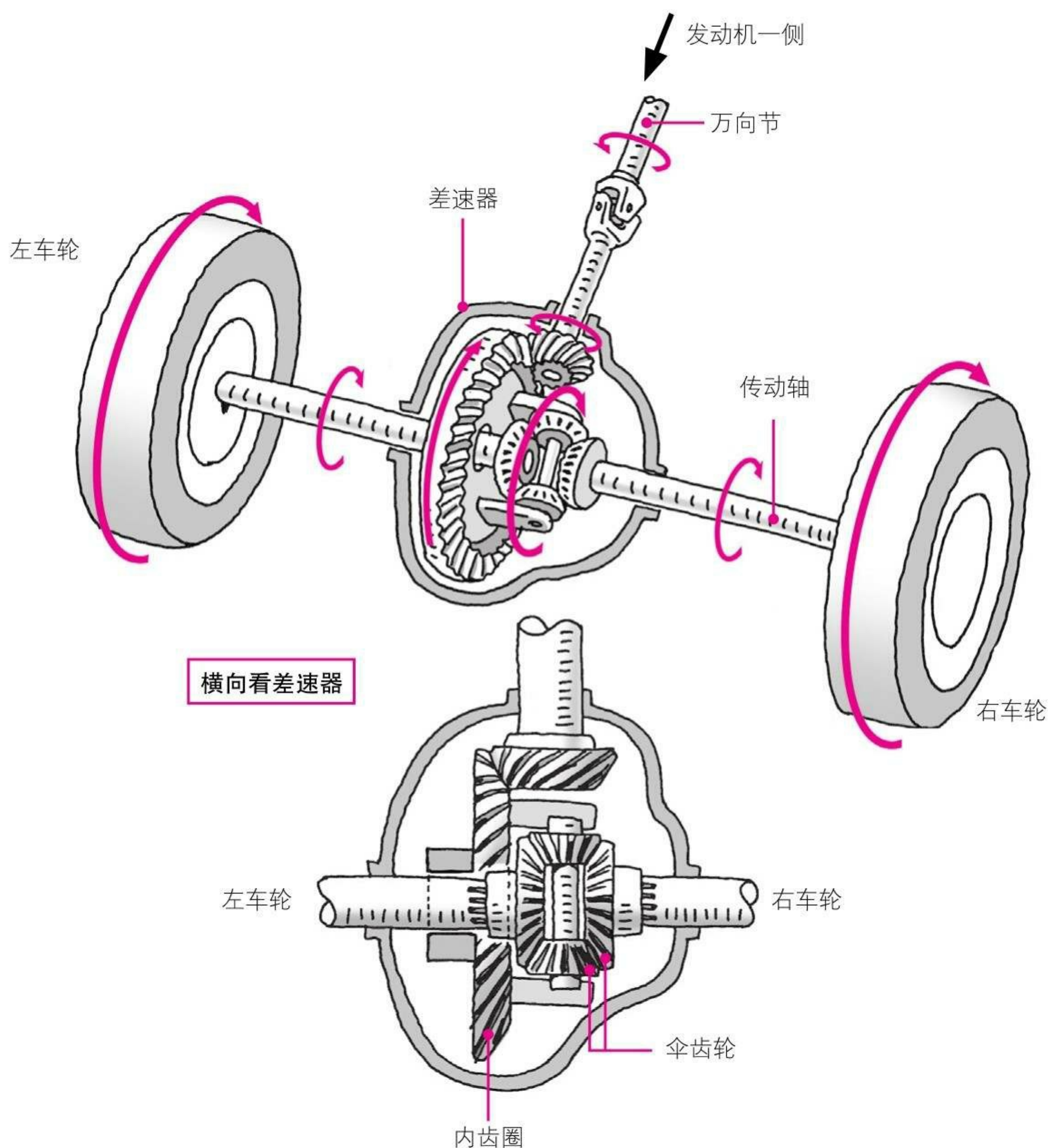


图3.7 差速器的结构

组合圆锥形的伞齿轮，改变旋转力的传递方向。

万向节的旋转带动差速器入口处的圆锥形小齿轮——伞齿轮转动，由此带动大齿轮内齿圈的转动。旋转力传递到内齿圈后，就会通过两个伞齿轮再传递至与车轮相连的传动轴。这样一来，发动机的旋转力就转

化成了驱动后轮的横向的旋转力。由此，差速器就通过使用不同形状的齿轮将发动机的旋转力转化为了驱动轮的旋转力。

3.3.3 差速器也能降低速度，增大动力

差速器的第二个作用是再次增加由变速器增加过的发动机旋转力。从万向节传来发动机的旋转力，首先传递到大齿轮内齿圈的意义就在于此。

借助小齿轮伞齿轮和大齿轮内齿圈的组合，从万向节传递至差速器的发动机旋转力在此再次增大。内齿圈和伞齿轮的直径比约为4：1。也就是说，即使变速器的齿轮组合的直径比为1：1（如4挡时），差速器也能以4：1的比率增大旋转力。

我们把借助差速器实现的减速的比率称为最终减速比　，意味着在动力传动系的末尾再进行一次减速。

例如汽车利用变速器的1挡齿轮发动时，使用的是4：1的齿轮组合。这时如果再加上差速器的4：1，发动机产生的力经过变速器后就变为原来的4倍，再经过差速器入口时又变为刚才的4倍。这样一来，最初的发动机旋转力传递到后轮时就变为了原来的16倍。

之所以不在一开始就利用变速器将发动机旋转力增加到原来的16倍，是因为如果把齿轮组合的直径比设定为16：1的话，大齿轮就太大了。并且，即使是用高速齿轮行驶，也需要通过增大动力协助差速器减速。

3.3.4 利用差速器调整内侧和外侧的距离差

差速器的第三个作用是协助汽车转向。想象一下汽车转向时的情况，内侧车轮和外侧车轮的行驶轨迹是不一样的。内侧转小弯，外侧转大弯，也就是说，转向时内侧和外侧行驶的距离不同（图3.8）。

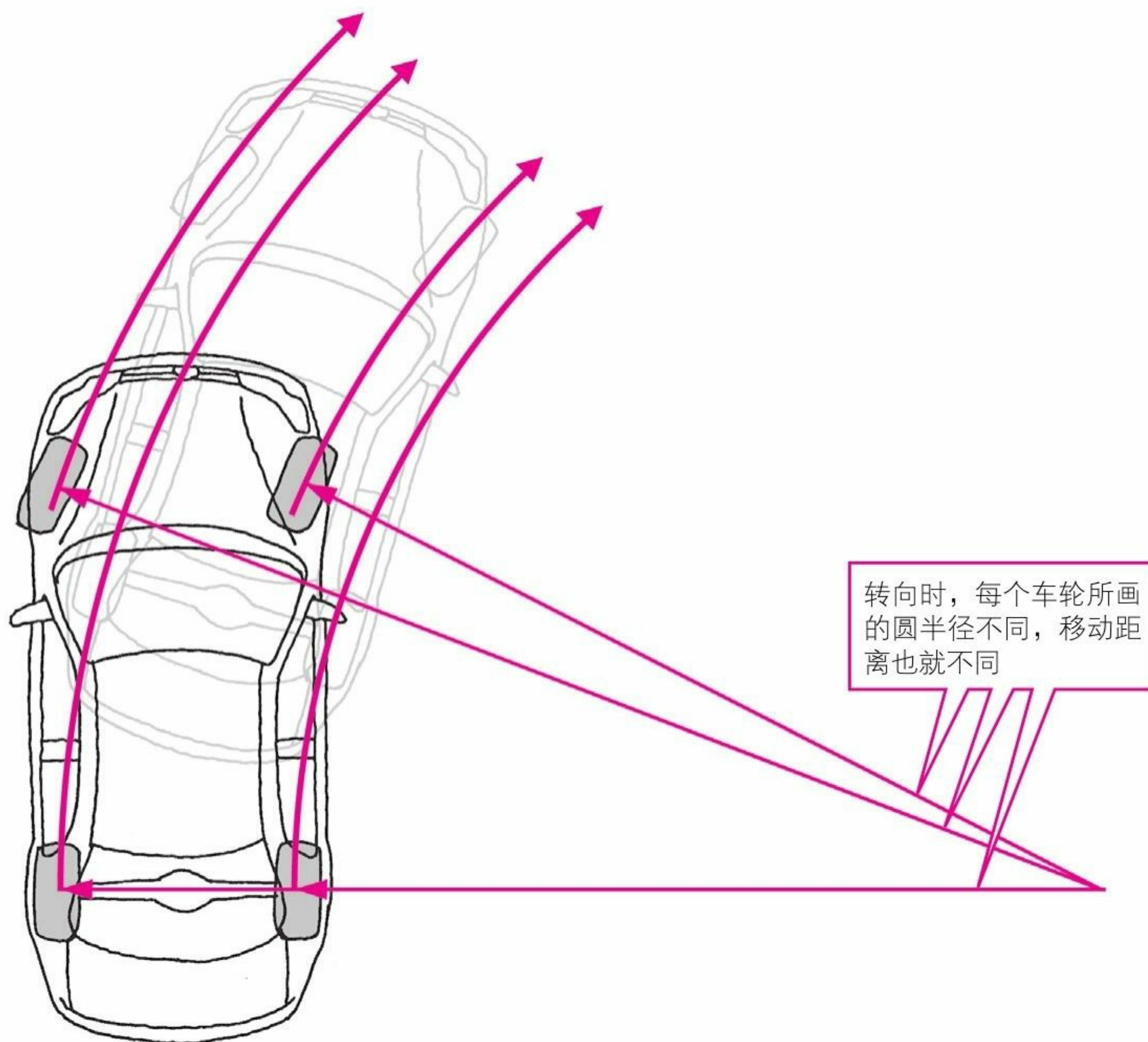


图3.8 转向时四个车轮的轨迹

即便如此，汽车也是作为一个整体行驶的，不能让内轮和外轮相互分离。因此，需要让行驶距离短的内轮缓慢转动，行驶距离长的外轮快速转动。但驱动汽车的力必须左右相同。如果内外轮驱动汽车的力不同，就会陷入向内倾陷、向外凸出等混乱的行驶状态，导致汽车无法顺利转向，也不能保证行驶安全。

差速器能够使内轮缓慢转动、外轮快速转动，同时保证内外轮驱动汽车的力相同。我们把差速器的这个作用称为差动 。

即使看着图也很难从差速器的结构上理解它的差动作用。它比较复

杂，也容易混乱。所以你只需要先理解差速器是通过吸收内外轮的移动差来保证汽车顺利转弯的装置就可以了，我会在第4章中详细讲解差动的机制。

3.3.5 连接差速器和轮胎的传动轴

发动机的旋转力借助差速器传递至两个后轮（轮胎）。准确说来，从差速器传来的旋转力是经过传动轴传递到两个后轮。与万向节不同，传动轴由铁制成。

在传动轴和两个后轮之间，拥挤地排列着悬架臂和从发动机引出的排气管，是无法再容纳像万向节一样的粗管的。并且也不需要像万向节一样长，因此也就不用太过担心旋转引起的振动，所以传动轴就使用了纤巧实心的铁棒。这就是所谓的物尽其用。

轮胎安装在称为轮毂　的轴承上，借助传动轴传递到左右两个后轮的旋转力带动轮胎转动。这样一来，汽车的旋转力就经过动力传动系（驱动系统）传递到了驱动轮。

汽车开动啦。

3.4 自动变速方式1：变矩器式

3.4.1 自动变速器有三种

之前我们已经全面了解了动力传动系（驱动系统）的基础部分——手动变速器，接下来我将讲解实用的自动变速器。由于使用自动变速器时驾驶员无需通过控制离合器进行变速，因此其结构也就相对更复杂一些。

虽然我曾笼统地介绍过自动变速器，但它实际上分为好几种。第一种是自动操作手动变速器中的离合器，我们通常称之为自动离合式 。

第二种是用液力变扭器　取代离合器。切换齿轮的齿轮部分也与手动变速器不同。带液力变扭器的变速器是最常见的一种自动变速器，因此我们一般就直接把它称为自动变速器。

第三种是利用无级变速器 ，这种方法常被称为传动带式**CVT** 。它是利用自动离合器和液力变扭器来驱动汽车的。

那么我就先讲一下最常见最普遍的、使用液力变扭器的自动变速器，先从取代了手动变速器中离合器的位置的液力变扭器开始讲起。

3.4.2 液力变扭器像面对面摆放的两个风扇

液力变扭器有两个功能。一个是与离合器相同的动力传递功能，负责将发动机的旋转力传递至变速器。另一个是增大发动机旋转力的功能。我会在介绍完液力变扭器之后，再讲解怎样利用带液力变扭器的自动变速器进行齿轮切换。

我在介绍离合器时讲过，变速器进行齿轮切换时，必须保证不把发动机的旋转力传递到齿轮。使用手动变速器时，人们通过踩下离合器踏板切断或者传递发动机的旋转力，而自动变速器必须自动完成这一过程，因此需要用到有一定黏性的液体（自动变速器油液 ）（表3.1）。之所以需要液体，是因为液体和气体所具有的一定的黏性有利于实现自动化。

表3.1 手动变速器和自动变速器主要的不同

	手动变速器	自动变速器（液力变扭器式）
发动机和变速器的连接处	离合器	液力变扭器
连接处的结构	摩擦片压紧飞轮，连接发动机和变速器。摩擦片松开时发动机的旋转力就无法传递至变速器	发动机和变速器之间安装了盛有液体的液力变扭器，发动机的旋转力通过液体传递到变速器
切换齿轮的时机	驾驶员踩下离合器踏板进行齿轮切换时	液体的油压和离心力发生变化时。甚至要用到基于汽车的加减速状态的电脑控制
使用的齿轮	正齿轮	行星齿轮

液力变扭器类似于两个面对面的风扇（图3.9）。一侧的电风扇带来的风会带动另一侧电风扇的扇叶转动。并且，一侧的电风扇转速提高时，对面的电风扇也开始快速转动，这是因为空气的流动带动了另一侧电风扇扇叶的转动。但是用手下压另一侧电风扇的扇叶就能很快使其停止转动，这是因为驱动扇叶的只是空气流，些许阻力也能很快使其停转。这样一来，也就使得两个电风扇扇叶的转动不再同步。

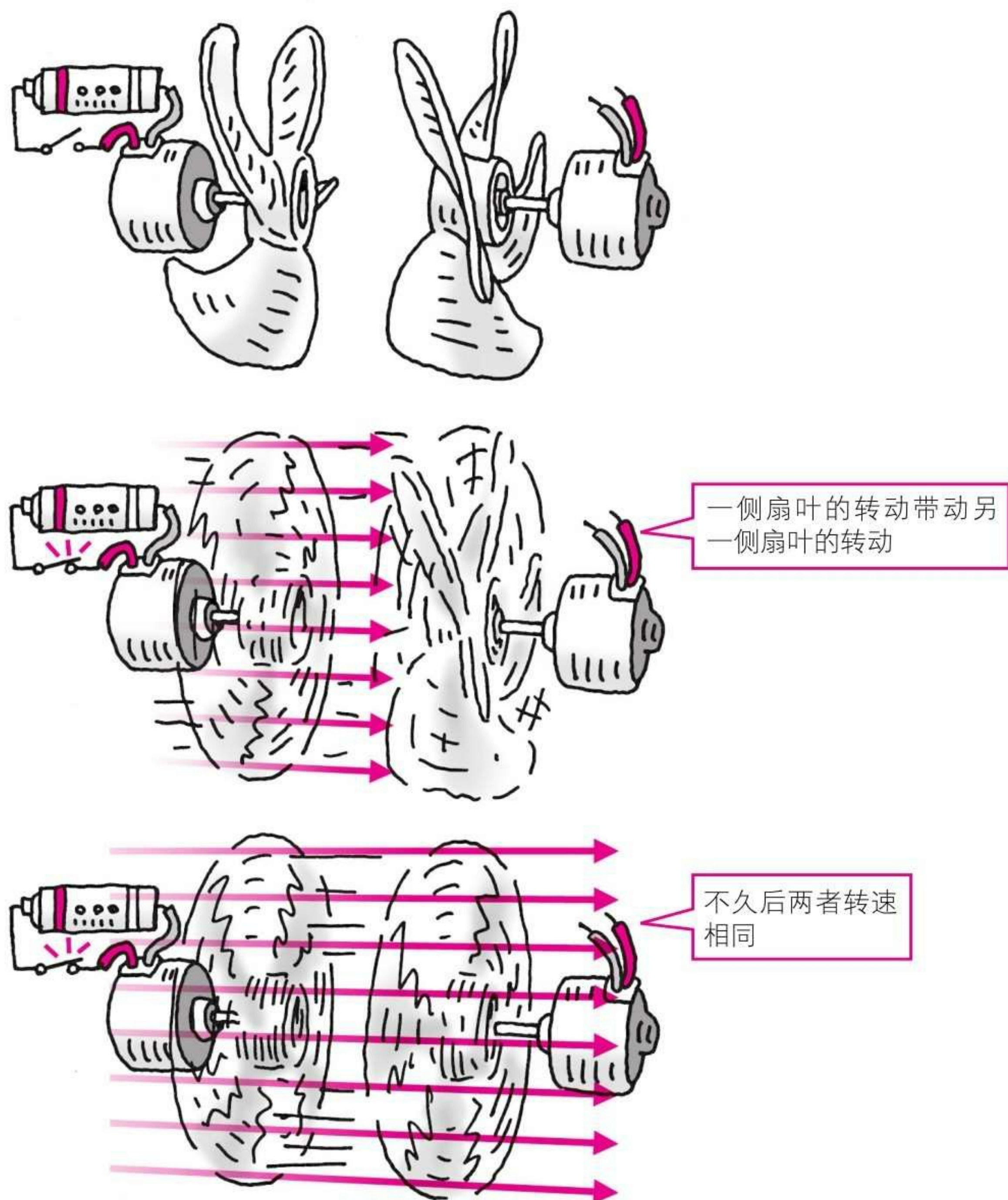


图3.9 液力变扭器的结构图

扇叶相对，传递旋转力。

风带动另一侧的电风扇转动的状态，就相当于手动变速器中连接上离合器的状态。增加阻力使另一侧的电风扇停转，也就相当于踩下了离

合器踏板。这样一来，就能利用气体和液体所具有的一定的黏性传递动力了。

与电风扇的例子相同，液力变扭器也配备了两个面对面的扇叶。虽说是扇叶，但其形状不同于电风扇的扇叶，而是类似于水车的转轮（图3.10）。一侧的扇叶安置在发动机后的飞轮（惯性轮）上，发动机的旋转力和飞轮的旋转共同带动发动机一侧的扇叶旋转，搅拌液力变扭器内的液体（自动变速器油液）。这就类似于刚才所说的电风扇带动了风。

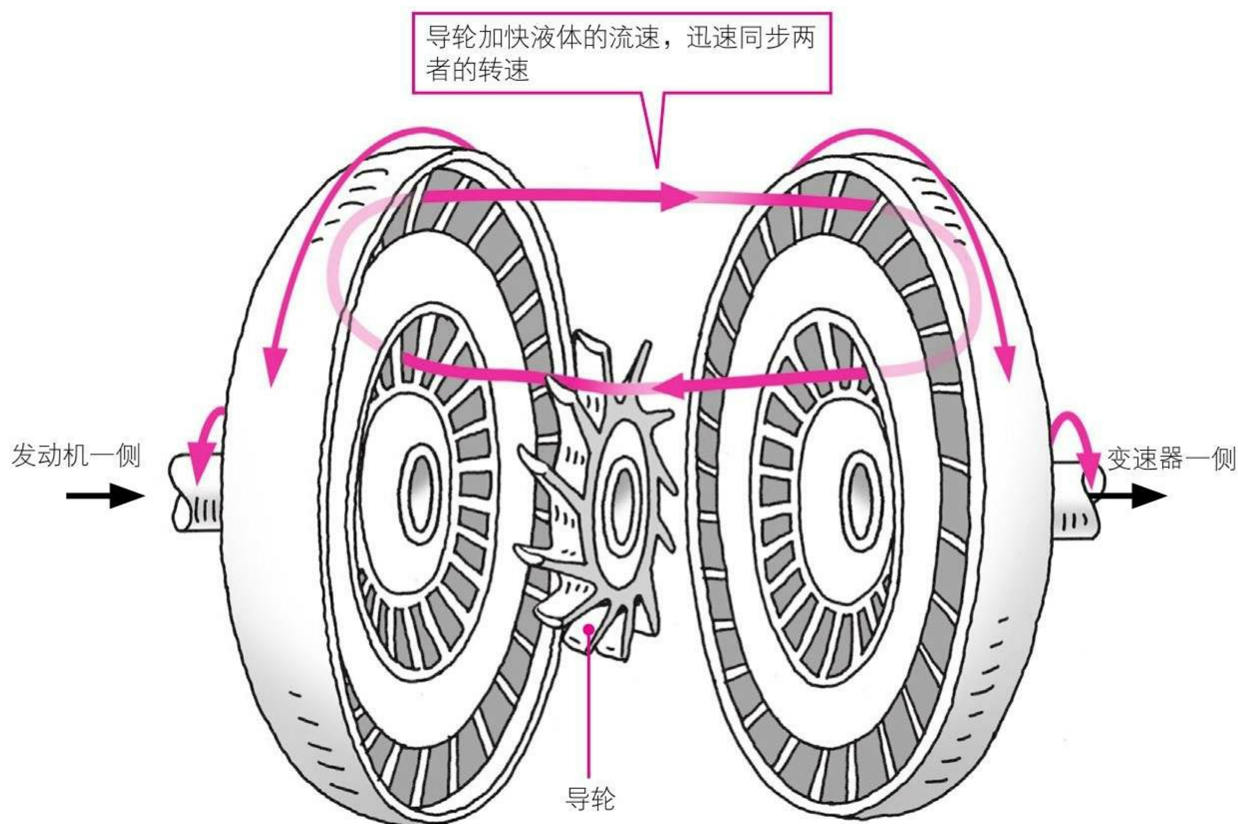


图3.10 液力变扭器的内部

两个扇叶之间是加快流势的导轮

自动变速器油液的流动带动另一侧的扇叶开始转动。这样一来，发动机的旋转力就传递到了位于液力变扭器之后的自动变速器的齿轮上。顺便提一句，自动变速器油液是可以循环使用的。

3.4.3 用导轮加快液体的流速

接下来我将讲解液力变扭器的第二个功能——增大旋转力。与离合器不同，液力变扭器还有一个附加功能，就是增大旋转力。刚才我讲到，由一侧扇叶的旋转带动的液体的流动会传递到另一侧的扇叶。其实，此时的液力变扭器还在完成另一个任务。

为了加快循环的自动变速器油液的流势，在液力变扭器的两个扇叶之间安上了导轮 （图3.10）。

当发动机一侧的扇叶转速与变速器一侧的扇叶转速不同时，自动变

速器油液撞击到导轮叶片后会顺着导轮叶片的形状产生动力，加快液体的流势。这就使得发动机一侧的扇叶转速和变速器一侧的扇叶转速能够在短时间内实现同步。当两个扇叶的转速相同时，发动机的旋转力就能无损耗地传递到后面自动变速器的齿轮上。而当转速不同时，发动机的旋转力就无法充分传递到变速器。

当两个扇叶的转速相同时，导轮也与两个扇叶实现了同步。这就意味着导轮完成了加快自动变速器油液流势的任务。也就是说，当两个齿轮的转速相同时，导轮就实现了增大扭矩的功能。它不同于手动变速器中利用齿轮和差速器所进行的减速。

发动机一侧的扇叶转速与变速器一侧的扇叶转速不同，类似于手动变速器中的半联动状态。在半联动状态下，发动机的旋转力无法充分传递至驱动轮。利用导轮加快液体的流势，使变速器一侧的扇叶转速与发动机一侧的扇叶转速快速实现同步，就能减少旋转力的浪费。实际上，装上导轮后，驾驶员会觉得提速很快。

借助导轮和自动变速器油液，发动机的旋转力很难快速、无损耗传递的缺点得到了改善。

3.4.4 离合器与液力变扭器强强联合

随着技术的进步，汽车生产商们又给液力变扭器增加了锁止装置。

我在举电风扇的例子时讲过，利用液体传递旋转力时，只需些许阻力就能够使扇叶很快停转。就像手动变速器的飞轮和离合器一样，固体间的直接压紧的确能够无损耗地传递发动机的旋转力。因此，带有锁止装置的液力变扭器就诞生了。

这是在液力变扭器中同时安装离合器的方式，我们称之为锁止（lock up），是指在汽车完成发动、加速、变速后匀速行驶时，让离合器的摩擦片压紧飞轮盘。lock up本身就有落锁固定的意思。这样一来，

发动机的旋转力就能利用离合器无损耗地传递至驱动轮了。

锁止离合器摩擦片的压紧，最初是利用了自动变速器油液的流势，但如今都是运用电脑控制离合器的开闭。这样一来，就能使离合器迅速压紧，也就能将发动机的旋转力高效快捷地传递到驱动轮了。同时能给乘车人带来强烈的行驶感，也有利于降低油耗。

有了锁止装置，搭载自动变速器汽车的提速时间也就短多了。

3.4.5 使用三个齿轮的行星齿轮

液力变扭器的后面是变速器，这一变速器内的齿轮不同于手动变速器中的普通齿轮（正齿轮 ）组合。

自动变速器中使用的齿轮是行星齿轮 （图3.11，照片3.1）。齿轮的组合类似于太阳系的行星围绕着太阳公转，所以叫做行星齿轮（planetary gear）。

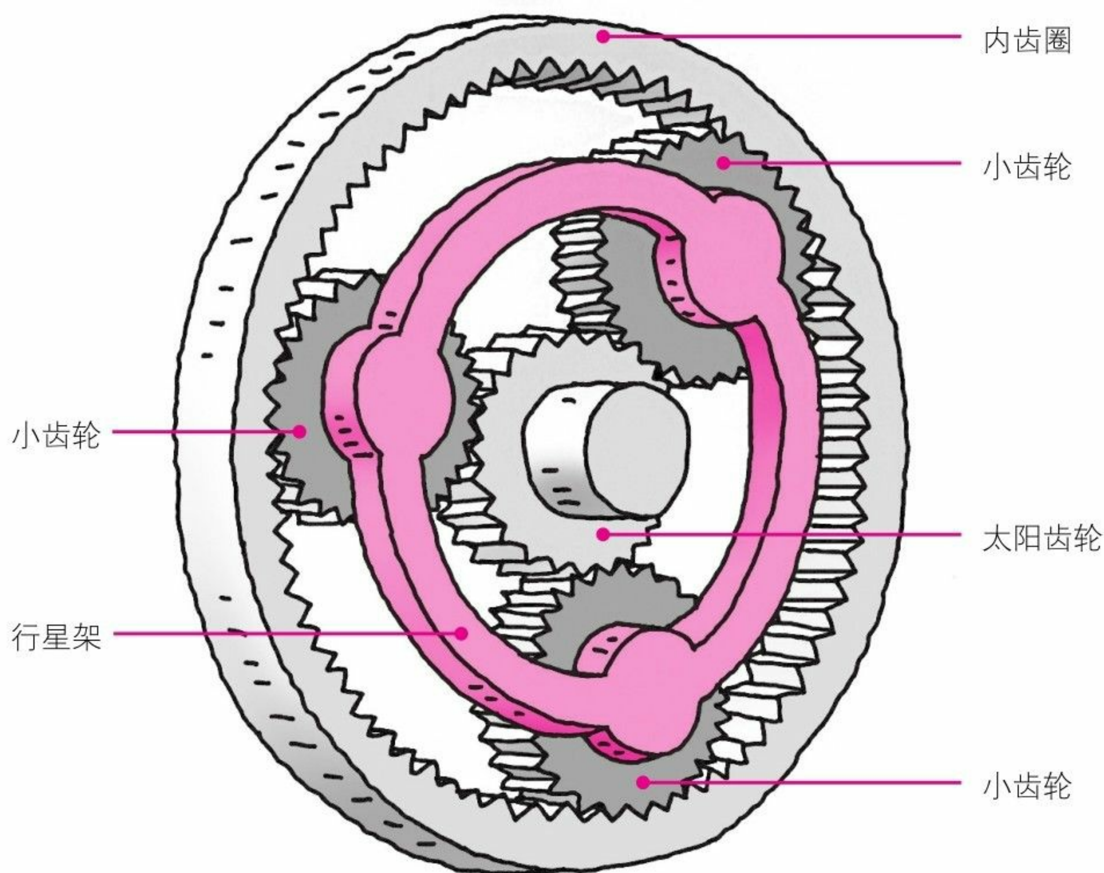
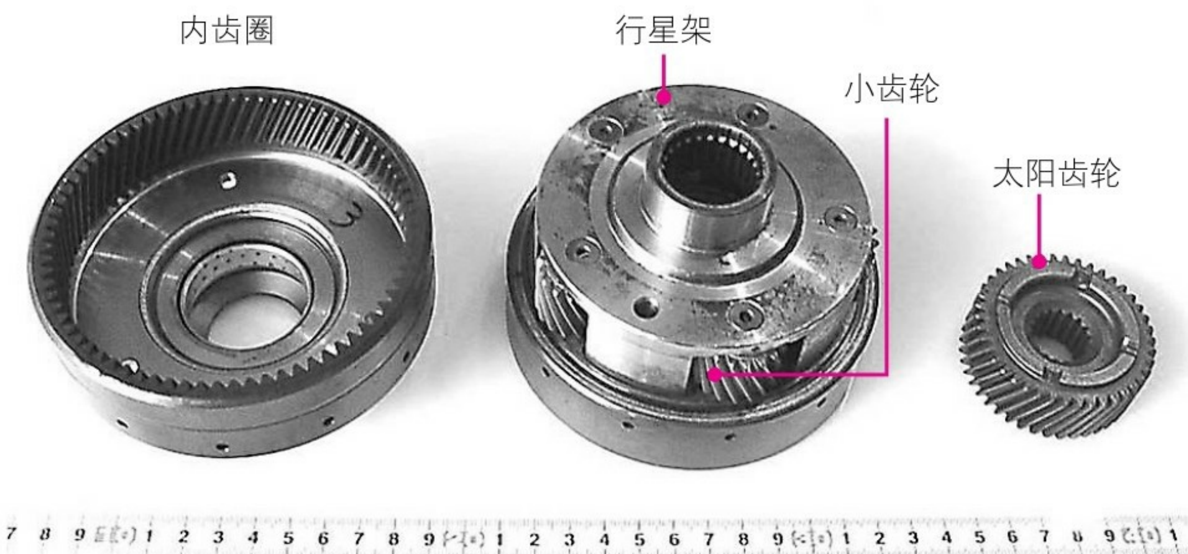


图3.11 行星齿轮

中间是太阳齿轮，周围是三个小齿轮，外侧是内齿圈。



照片3.1 行星齿轮

左边是内齿圈，中间是装在行星架中的小齿轮，右边是太阳齿轮。照片由加特可[10]提供。

行星齿轮组合有利于汽车进行自动变速。然而由于通常是很多齿轮同时啮合旋转，摩擦也就随啮合的齿轮数量相应增加。在这一点上，由于使用正齿轮的手动变速器中传递旋转的齿轮组合往往只有一组，也就能够减少齿轮啮合产生的摩擦所带来的损耗。因此手动变速器不用行星齿轮，而是使用正齿轮。

我再详细说一下行星齿轮。行星齿轮的中间是太阳齿轮 ，类似于太阳系中太阳所处的位置。周围排列着小齿轮 ，相当于行星。在最外面围绕着这些齿轮的是内齿圈 。

要理解各个齿轮之间是如何相互作用的或许有些难。如果你觉得很难理解，只需要记住一点，即在自动变速器中，是通过区别使用行星齿轮的三种齿轮进行自动变速的。接下来，你可以直接看3.5节的内容了。

3.4.6 利用两个齿轮的组合进行齿轮切换

那么，想要详细了解行星齿轮运作方式的读者，就来听我讲解一下吧。一套行星齿轮包括太阳齿轮、小齿轮和内齿圈这三种。如图3.11所示，小齿轮有三个，由里侧的框架（行星架 ）串起。当行星齿轮横向旋转时，三个小齿轮保持着一定的间隔共同移动。

变速时，只使用太阳齿轮、小齿轮和内齿圈中的两种齿轮，剩下的一种固定不动。关于如何只固定三种齿轮中的一种，我会在介绍完自动变速的结构后再进行说明。在行星齿轮中，是通过改变两种动态的齿轮进行切换的。

举一个具体的例子来说明。首先，保持外围的内齿圈固定不动，让发动机的旋转力传递至太阳齿轮使其转动。接着，与太阳齿轮啮合的小齿轮一边横向移动一边转动。此时，小齿轮在各自自转的同时，一起围绕着太阳齿轮公转。这就是1挡的齿轮组合（图3.12）。借助行星架的转动，小齿轮的公转传递到驱动轮，使汽车发动。

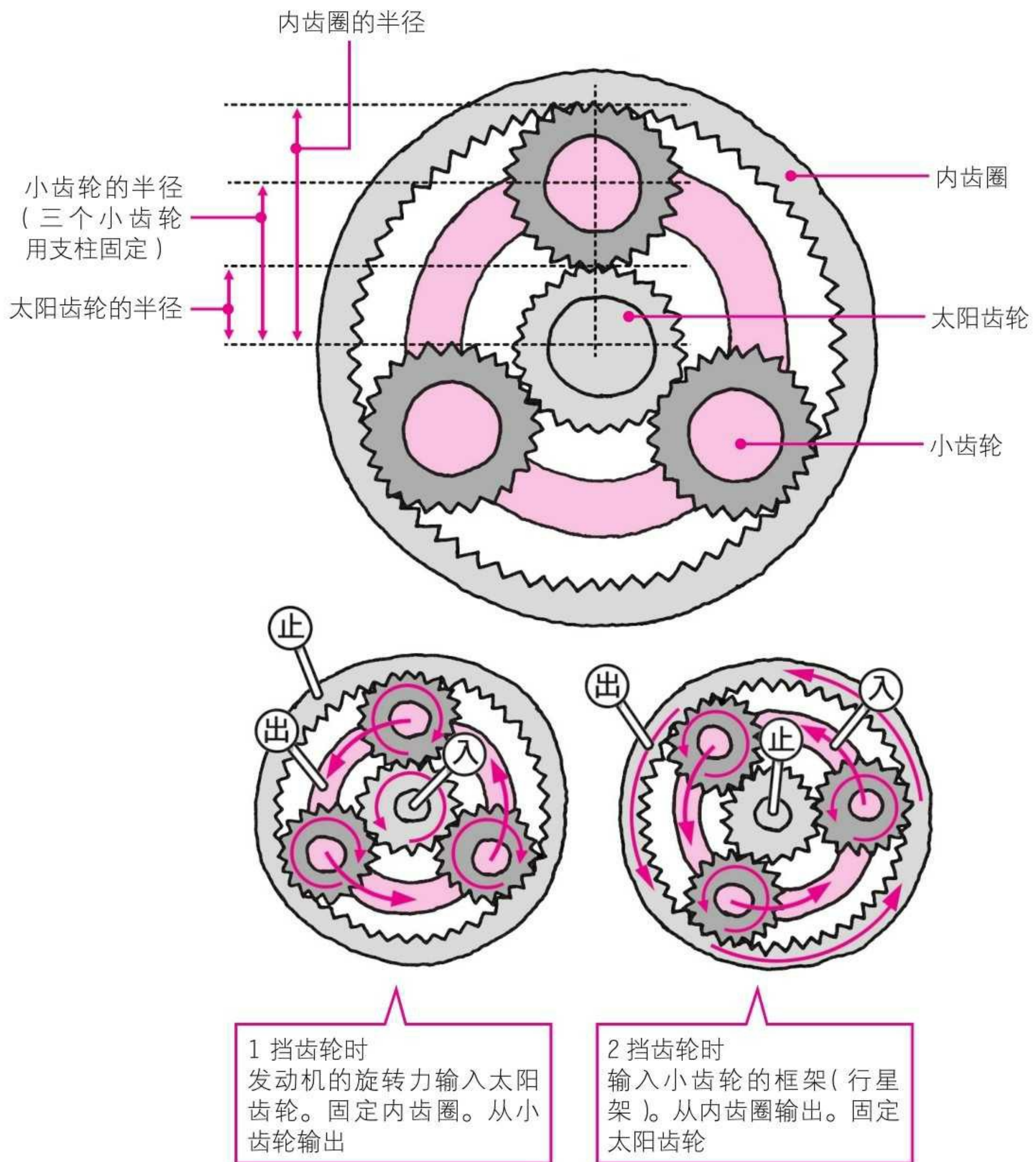


图3.12 行星齿轮中的直径关系

假设太阳齿轮的半径为1，小齿轮的半径为2（从太阳齿轮的中心算起），内齿圈的半径为3。行星齿轮通过切换输入和输出的齿轮改变齿轮的半径比。

接着，固定中间的太阳齿轮，发动机的旋转就传递到了小齿轮上。

小齿轮自转的同时围绕太阳齿轮公转，带动外围的内齿圈转动。这是2挡。

然后，让所有齿轮开始转动，不久3个齿轮的转速就相同了。也就是说，大小齿轮在尺寸上的不同并没有引起减速，而是将发动机的旋转力原原本本地传递到了驱动轮。这时，发动机的旋转力无论传递到哪个齿轮，都能不减速、无损耗地传递到车轮。即处于发动机的旋转力无损耗地传递到驱动轮的直接传递状态，减速比为1：1。这是3挡。

接下来与2挡相同也是固定太阳齿轮，但需要让发动机的旋转传递到内齿圈。随后，小齿轮在自转的同时公转，形成大齿轮带动小齿轮的关系，类似于齿轮比反过来成为1：2的状态。这是4挡。

当与1挡同样固定了内齿圈时，将发动机的旋转力传递到小齿轮，从而带动太阳齿轮转动，也体现了大齿轮带动小齿轮的关系。这就选定了5挡的齿轮组合。但4挡和5挡时，齿轮比会小于1，即齿轮转速快于发动机转速，我们称之为超速挡 。

自动变速器诞生时，3挡变速是主流。这是因为当时不使用4挡和5挡这两个超速挡，只用最初的1～3挡。后来出现的5挡和6挡自动变速器同时使用了两组行星齿轮。

之前我说过，即使看着图，也很难理解在行星齿轮中该让哪个齿轮固定、让哪个齿轮转动，从而带动哪个齿轮转动。但就基本方法来说，这与在手动变速器中通过变换大小齿轮的组合改变齿轮比并无二致。

3.4.7 行星齿轮也是利用齿轮的半径比进行变速

请再看一遍图3.12，思考1挡时使用的太阳齿轮和小齿轮的关系。试着比较一下从太阳齿轮的中心到其锯齿的半径和从其中心到行星架中心的半径就会发现：当小齿轮（太阳齿轮）的半径为1时，大齿轮（从太阳齿轮中心到行星架中心）的半径就是2，即齿轮的半径比为2：1。

说到这里，你或许会想到手动变速器所用的正齿轮在1挡时的齿轮

比为4：1，会觉得行星齿轮1挡时半径比为2：1有些奇怪。实际上自动变速器一般都有两个行星齿轮。途经两个2：1的行星齿轮后，齿轮比就会变成4：1，与手动变速器的1挡相同[11]。同时使用两个行星齿轮的状态是十分复杂的，我们就只了解一下2挡以上时一个行星齿轮中各齿轮半径的不同吧。

请比较一下2挡时从太阳齿轮中心到行星架的半径和从太阳齿轮中心到内齿圈锯齿的半径。1挡时小齿轮和太阳齿轮的半径比是2：1，2挡时内齿圈和小齿轮的半径比为3：2。与1挡时的齿轮组合相比，2挡齿轮组合的半径差变小了。

3挡时三种齿轮都在转动，请想象一下此时如果没有行星齿轮会怎样。如果三种齿轮由1根轴串成直线，发动机的旋转力就能不减速、无损耗地传递到轮胎。

当固定了太阳齿轮、将发动机的旋转力传递到内齿圈时，内齿圈的半径和从太阳齿轮中心到行星架中心的半径之间的关系，就与1挡和2挡时完全相反了。当固定了内齿圈、将发动机的旋转力传递至小齿轮从而带动太阳齿轮转动时，大小齿轮的关系也与1挡和2挡时相反。

如上所述，行星齿轮相当复杂，但与正齿轮一样，也要选择大小齿轮的组合。并且，关注一下旋转齿轮的半径，就很容易明白齿轮比的原理了。

3.4.8 利用离合器和制动器等驱动行星齿轮

那么，怎样才能使三种齿轮停转、选择输入发动机旋转力的齿轮呢？那就需要区别使用负责切断或传递动力的离合器 、用于停转的制动器 和只传递一个方向旋转的单向离合器 。利用这些装置，可以随时连接或切断与太阳齿轮、小齿轮、内齿圈相连的轴，并使齿轮停转。

与讲解发动机和锁止时所介绍的离合器相同，这里使用的离合器装置也是利用摩擦片切断或传递旋转力的。但它不是位于发动机之后的大

圆盘状的装置，而是重叠了几个小圆盘状的离合器的多板式离合器（图3.13）。

图3.13是装有行星齿轮和多板式离合器的变速箱的剖面图。图左侧的线是多板式离合器，右侧着色的长方形是行星齿轮中的小齿轮。图中并排着两组行星齿轮。啮合哪一个多板式离合器，决定了要将旋转力传递到行星齿轮的哪个齿轮。例如，啮合左上角的多板式离合器（①）时，旋转力随箭头所指通过中心轴（②）传递到右侧的小齿轮（③）。随后经过小齿轮中心时，小齿轮行星架（④）开始转动，将旋转力传递至轮胎。自动变速器就是通过如此复杂的切换自动变速的。

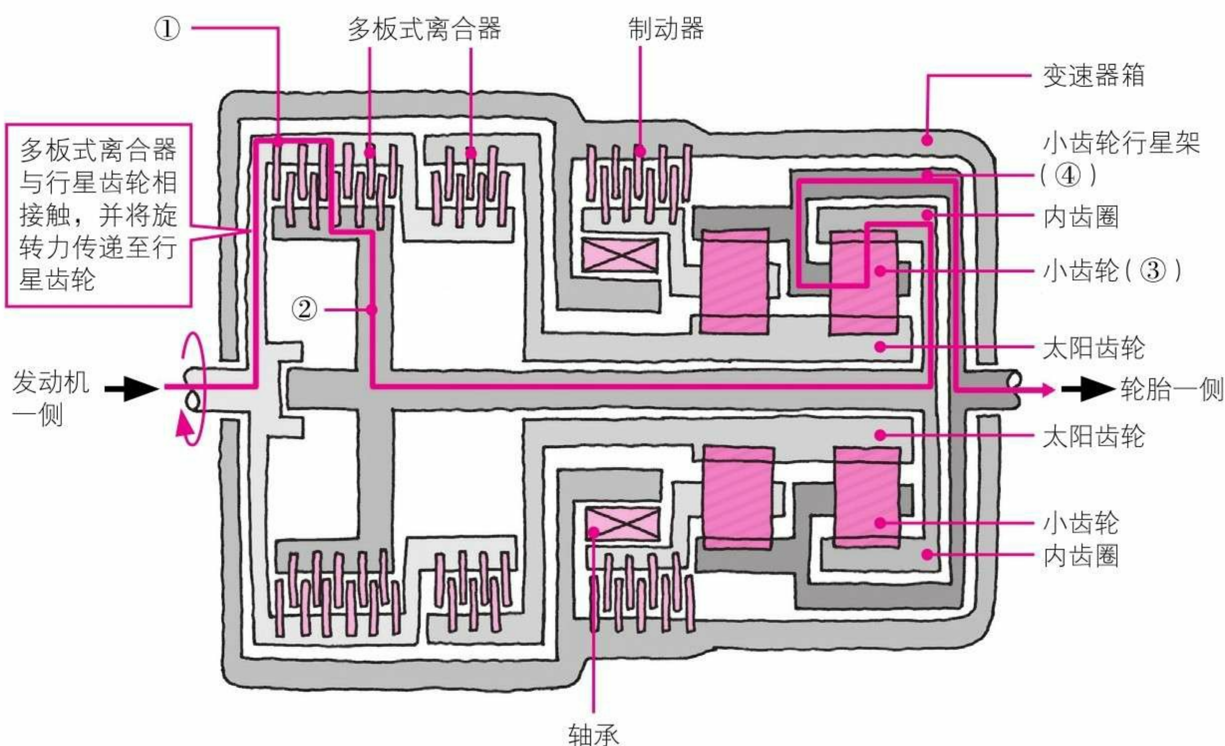


图3.13 行星齿轮中使用的多板式离合器

装有行星齿轮和多板式离合器的变速箱的剖面图。右侧是行星齿轮，左侧是重叠了几个小圆盘状的离合器的多板式离合器。啮合哪一个多板式离合器，决定了要将旋转力传递到哪个齿轮。箭头是指啮合了左侧的多板式离合器，沿①～④的路线传递到轮胎。

与多板式离合器一样，这里所用的制动器也是重叠了几个带有摩擦

片的小圆盘的装置。利用摩擦片压紧变速箱，使齿轮停转，也就起到了制动器的作用。

单向离合器就类似于我们常用的厨房用具——擦菜板。只能沿着一个方向，无法反向使用。比如只能传递右旋转，却使左旋转处于空转状态而无法传递其旋转力。

自动变速器包含了多板式离合器、制动器和单向离合器三个装置。结合实际情况区别使用这三个装置，就能将旋转力传递至行星齿轮的太阳齿轮、小齿轮和内齿圈，同时能够使其中任意一个固定不动。

多板式离合器、制动器和单向离合器的运转，利用了自动变速器油液产生的油压和液体旋转时的离心力。正因如此，自动变速器才要用到液体。设计好油液循环路线　，决定何时让油压和离心力发挥作用，也就把握住了自动变速器的关键。油液循环路线如迷宫一样规定了油液的循环通道，其设计的好坏直接关系到驾驶员能否顺利平稳地加速。

现在的汽车中除了使用油液循环路线之外，还利用了智能控制。它首先判断汽车是在加速、减速还是在匀速行驶，再利用电子信号提示目前应该使用的齿轮组合，同时负责切换离合器、制动器和单向离合器等各个装置。这样一来就减小了齿轮切换时的振动，降低了油耗。

自动变速器由液力变扭器、行星齿轮和油液循环路线等复杂的装置组合而成，光讲解这些装置就可以写成一本书了。

但是在这里，你只需了解两点就够了。一是自动变速器与手动变速器一样，都是利用大小齿轮的组合改变齿轮比。二是自动变速器利用的是不同于手动变速器中正齿轮的行星齿轮进行自动变速的。

3.5 自动变速方式2：自动离合器式

代替了人工的电脑控制和油压装置

下面我将要讲解的是自动变速的第二种方式：自动离合器式。自动离合器式　，是利用手动变速器中使用正齿轮的常啮合式装置，自动控

制离合器进行齿轮变换。

由于自动离合器式也是自动变速，因此称之为自动变速器无可厚非。但之前也讲过，提到自动变速时，通常是指利用液力变扭器和行星齿轮进行变速的方式，因此我就暂且使用自动离合器式这个别名吧。

由于自动离合器式汽车的驾驶座位置上没有离合器踏板，只有加速器踏板和制动器踏板，因此只要持有小型自动挡汽车驾照（即C2）即可驾驶。自动离合器式的工作原理是利用油压接合或分离离合器，并进行齿轮切换。

它是先利用传感器检测汽车是在加速、减速还是在匀速行驶，再通过电脑判断油压发挥作用的时机和齿轮切换的时间。虽然加装了代替人接合、分离离合器和进行齿轮切换的油压装置，但离合器和变速器的零件仍然沿用了手动变速器的零部件。这就使得自动离合器式在控制了开发和生产经费（成本）的同时也尝到了自动变速的甜头。因此，它开始以欧洲小型汽车为中心普及，而这些小型汽车原来大多搭载的是手动变速器。

不久，出现了由自动离合器式发展而来的新自动离合器式。它使用了两个离合器，从而使汽车能够更顺利地变换齿轮。我们称之为双重离合器式 或两脚离合器式 。

这种方法使用两个离合器，一个用于奇数齿轮，即1挡、3挡和5挡，另一个用于偶数齿轮，即2挡、4挡和6挡。1挡带动汽车发动后，2挡齿轮做准备，偶数用的离合器处于分离待机状态。由于从轮胎的旋转就能看出汽车加速的状态，因此发动机转速提高后就分离了1挡的离合器，接合处于待机状态的2挡的离合器。这样一来，既缩短了齿轮切换的时间，又能自然顺利地完成变速，驾驶员甚至感受不到齿轮的切换。并且，利用电脑选择最适合的齿轮，还能够降低油耗。

3.6 自动变速方式3：CVT

利用传动带顺利转换齿轮

下面我将讲解自动变速的第3 种方式——无级变速器 （CVT）。CVT是Continuously Valiable Transmission的缩写，顾名思义，就是能进行无级变速的变速器的意思。虽然也是自动变速器的一种，但为了和常见的使用液力变扭器和行星齿轮的方式区分开来，与自动离合式相同，把它称为CVT。

无论是手动变速器，还是自动变速器，都有1挡、2挡这样的变速级数，但CVT没有，这就是称之为“无级”的原因。

20世纪80年代中后期，CVT开始应用于市售车。在以小型汽车中普及的同时，也开始应用于拥有大排量发动机的汽车。

CVT的最大目标是降低油耗。为了抑制全球变暖，人们开始追求油耗的降低，由此CVT逐渐普及。那么，CVT是如何降低油耗的呢？

无疑，CVT的优势在于没有变速级数。换言之，它具有无限增大变速级数的效果。我来举个具体的例子。

假设你驾驶的汽车搭载着使用普通齿轮的变速器，而不是CVT。爬坡时，你一定有过这样的经历：无论是手动变速器还是自动变速器，2挡时发动机转速过快，3挡时转速反而太慢，导致动力不足。

这样看来，汽车在行驶过程中总会遇到无论选择哪个挡位都不合适的情况。这时要么速度不理想行驶得太慢，要么发动机转速过高噪声太大。如果为了提速想要加快发动机转速，用力踩下加速踏板又会提高油耗。这时，你是不是会想“要是有不快不慢刚刚好的齿轮组合该有多好”呢？

CVT就能实现你的愿望。它能够根据汽车的实际行驶状况，无限增大变速的级数，即实现无级变速。

CVT仅由两个滚轮和包裹滚轮的传动带（或链条）组成，结构极其简单（图3.14）。两个滚轮中一个位于发动机一侧，另一个位于驱动轮（轮胎）一侧，传动带负责将发动机的旋转力传递到驱动轮一侧。

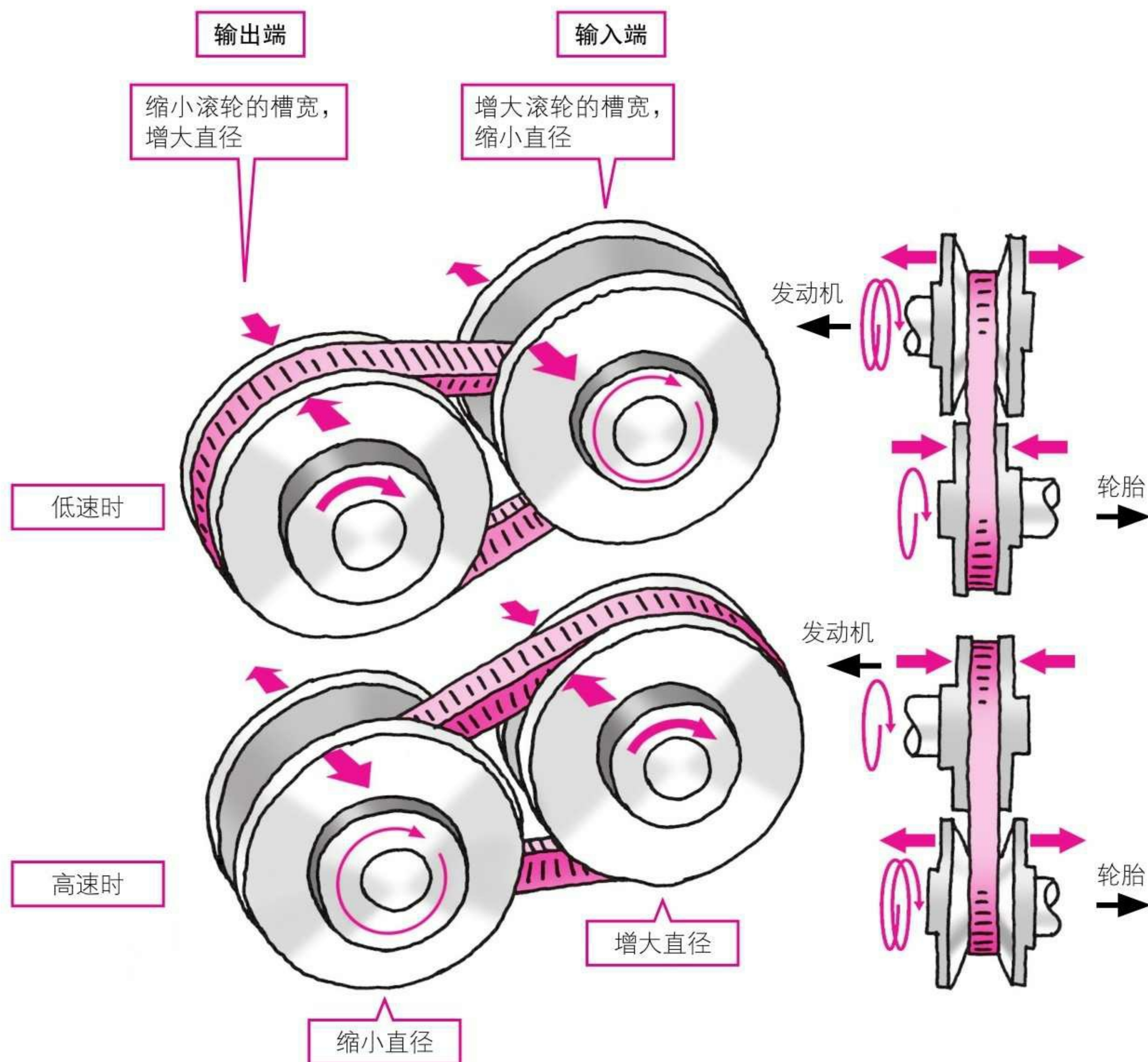


图3.14 CVT的结构

通过改变滚轮V型槽的槽宽，就能改变包裹着传动带的滚轮的直径。这就相当于配备了多个直径不同的齿轮。

CVT的工作原理如下。首先，CVT的滚轮上有V字型的槽（V型槽），行驶过程中两个滚轮都能够扩大或缩小槽宽。通过改变滚轮上V型槽的槽宽，就能增大或减小包裹着传动带的滚轮的槽径（直径）。改变滚轮的槽径与改变大小齿轮组合的效果相同，滚轮直径的不同相当于大小齿轮直径的不同，因此就能实现汽车的加速和减速。

这里的关键是如何自由改变滑轮的直径。没有了像齿轮一样从4：1到3：1的级差，它就能够根据汽车的实际行驶状况调整到最适合的比率。

CVT是借助油压调整滚轮的V型槽的，因此有必要增大油压。带动油压泵工作的是发动机的旋转力。虽然CVT的运转动力来自发动机，但相比较而言，无级变速能够使发动机的动力无损耗地贡献给行驶，因此总的来说，CVT还是起到了降低油耗的作用。

汽车利用电脑控制油压，调整滚轮的V型槽。通过利用传感器检测汽车的速度和驾驶员踩下加速踏板的程度调整滚轮，得到最适合的加速和最恰当的油耗。搭载了CVT的汽车之所以油耗低，就是因为它在保证发动机最高效旋转的同时能够实现自由变速。

除了刚才介绍过的传动带式，还出现过由圆盘和两个钢球构成的CVT，但不久就销声匿迹了。这是因为钢球很重，且为了传递动力必须强力下压钢球，而这需要更大的油压，其效率远低于传送带式。

持有小型自动挡汽车驾照（即C2）即可驾驶搭载CVT的汽车。

汽车辟谣

汽车的最快速度与空气有关吗？

记者：你的汽车的最快速度是多少啊？

编辑：我一直都注重安全驾驶，时速从未超过100km。

记者：　这与汽车的性能有关。大多日本汽车的速度表上都只标到180km。

编辑：嗯。

记者：但是谁也没试过。

编辑：那当然了，不能超速啊。

记者：但最快速度真的是时速180km吗？

编辑：速度表上是这么写的。难道不是吗？

记者：直到不久前，小型汽车和跑车还都把时速标到180km。

编辑：我只坐高级车，不太清楚。不太可能吧，有点儿奇怪。

记者：　你还坐过高级车？算了算了。这个刻度的上限是日本国内自主规定的，是由政府和汽车生产商共同讨论决定的。先不管这些问题，你知道汽车的最快速度是由什么决定的吗？

编辑：是发动机的马力吗？

记者：不能说错，但也不全对。

编辑：别卖关子啦，快告诉我。

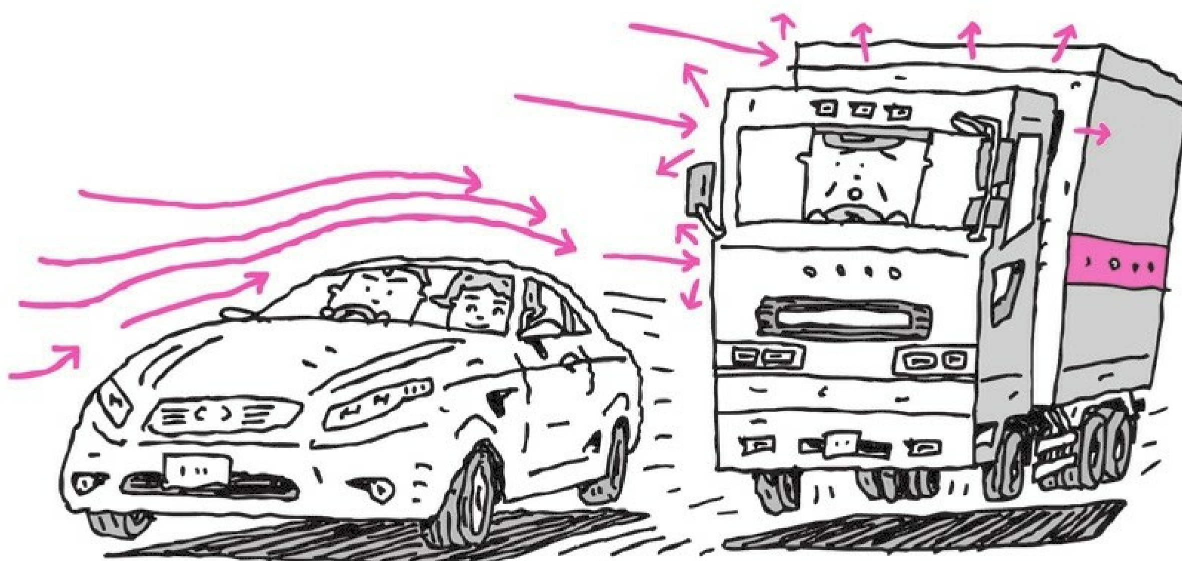
记者：是空气，空气的阻力。

编辑：噢。

记者：　无论汽车搭载的发动机有多大马力，都没法在不受空气阻力影响的情况下加速。空气阻力是速度的平方。所以，加到最高速虽然需要发动机的马力，但以速度的平方增大的空气阻力也起到了支配作用。

编辑：　你能别炫耀你的知识，非要讲得那么难吗？！你要是没法讲得连小孩子都懂，就写不出好的报道！

记者：　别着急啊。比如说，速度变为原来的2倍时，空气阻力就会增加到原来的4倍。时速100km时，空气阻力就是时速50km时的4倍。



编辑：差别那么大啊……

记者：　所以新干线的车头才会做成鸭嘴形，这样就能减小空气阻力，尽力提升最快速度了。

编辑：　怪不得汽车也会设计成跑车那样尖尖的形状呢，原来是考虑到空气阻力啊。

记者：　　是啊。所以我才说汽车的最快速度是由空气阻力决定的嘛。汽车的形状、车体的大小，以及车体表面的凹凸都会影响空气阻力。在卡车驾驶座的头顶部加上挡风板（整流板），也是为了减小四边形的卡车的空气阻力。如果开到没有空气的宇宙，就能无限提高最快速度。要是开得起劲，说不定就能开到宇宙的尽头。

编辑：那汽车实际上能跑多快呢？

记者：德国有一条不限制速度的高速公路，在那里，时速300km不再只是梦想。据说日产GT-R[12]在时速300km时，车里的人仍然可以不提心吊胆地随意聊天。在勒芒24小时汽车大赛[13]上，法国的一辆赛车曾达到时速400km。

编辑：日本的高速公路限速100km，无论最快速度有多快也没有用

武之地。不过最快速度是由空气阻力决定的这一点，竟然连我都不知道。是个盲点，有点意思！快写成报道吧。

记者： 遵命！

第4章 转向——借助轮胎和差速器顺利转向

热身问答

阅读正文前，让我们先回答下面的问题来热热身吧。

问题

在汽车转向时起到重要作用的“抓地力”指的是什么？

1.方向盘的握法

2.轮胎产生的与地面接触的力

3.因轮胎“变形”产生的力

答案

2.轮胎产生的与地面接触的力

解析

转向时，驾驶员首先转动方向盘，接着前轮改变方向开始转向。这时轮胎必须紧抓路面，承受汽车转向时产生的离心力。

我们把轮胎紧抓路面的力称为抓地力，它会因道路状况的不同而发生变化，如普通路面、下过雨的路面、沙土路或者冰雪路等。即抓地力的大小不仅与轮胎本身的性能相关，还会受到道路状况的影响。

并且，不仅在转向时，在加速和制动时，轮胎的抓地力也充当着重要的角色。

本章重点

在第4章中，我将依序讲解汽车是怎样转向的。当驾驶员转动方向盘时，前轮改变方向，汽车开始转向。轮胎是汽车中唯一与路面接触的零件，因此它是汽车转向时的关键。这样看来，怎样灵活利用轮胎紧抓

地面的抓地力，就成为汽车转向时的重中之重。

在第3章中我讲过，差速器对后轮来说意义重大，它能够帮助汽车顺利转向。本章我将解释在汽车转向时必不可少的轮胎的功能和差速器的结构。

本章看点

（1）改变汽车方向的转向系统

驾驶员转动方向盘时，前轮借助转向系统改变方向。除了转向系统的结构之外，我还将讲解能够帮助汽车轻松转向的动力转向系统。

（2）借助轮胎的变形和弯曲转向

轮胎由橡胶和纤维制成，里面是空气。这种柔软的结构在汽车转向时发挥了重要的作用。我将在后面详细介绍轮胎。

（3）轮胎的抓地力支撑汽车

无论汽车是在行驶还是在转向，轮胎的抓地力都不可或缺。没有抓地力，汽车寸步难行。我将详细解释什么是抓地力，以及汽车是怎样借助抓地力转向的。

（4）差速器用于调整左右轮转速

差速器由齿轮组合而成。它在将发动机的旋转力传递到后轮的同时，负责调整左右轮转速，以便汽车能够顺利转向。我会帮你弄懂差速器的复杂结构。

（5）利用悬架调整车体的倾斜度

悬架位于车体和轮胎之间，在汽车转向时协助车体倾斜。悬架负责调整车体的倾斜程度，帮助汽车顺利转向，我将主要介绍悬架的这一功能。

4.1 改变汽车方向的转向系统

4.1.1 方向盘的转动带动齿轮工作

到第3章为止，汽车已经发动了。接下来，只要驾驶员转动方向

盘，前轮改变了方向，汽车就开始转向了。

仅“转动方向盘、汽车转向”这一个动作，就有多个装置在起作用。这里的主角是转向系统 。转向系统由方向盘 、转向轴 、转向齿轮 、横拉杆 、节臂 和轮毂 组成（图4.1），接下来我将依次讲解这些装置。

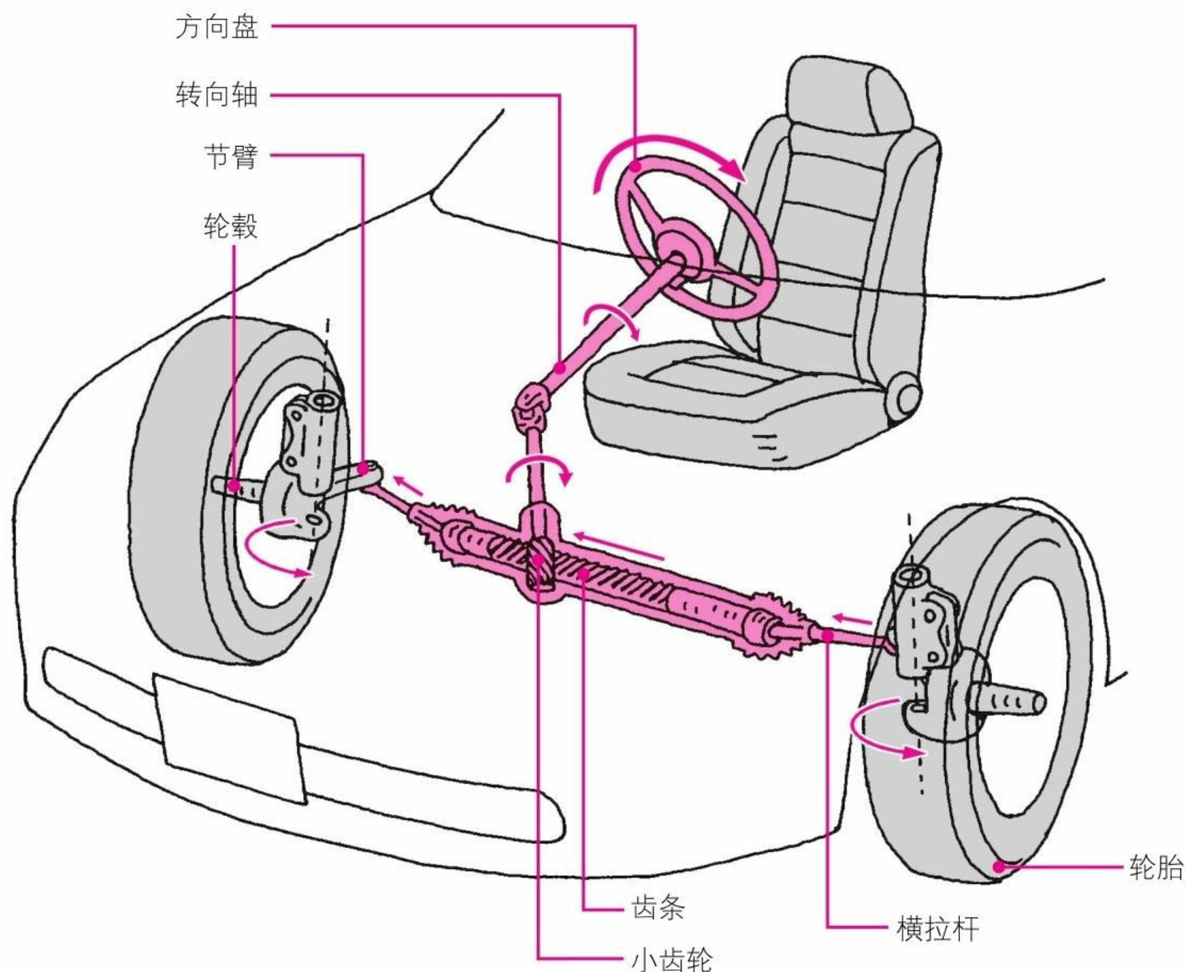


图4.1 汽车的转向系统

方向盘的前端连着转向轴，转向轴的前端是齿轮。我们把这个齿轮称为小齿轮 ，小齿轮与另一排锯齿相啮合。但这些锯齿不是刻在圆盘状的齿轮上，而是刻在一根直杆上，我们称之为齿条 。小齿轮和齿条相啮合的装置叫做转向齿轮 ，且这种小齿轮和齿条的齿轮组合被称为齿轮齿条式 。

当驾驶员转动方向盘时，这一动作会经由转向轴传递到齿轮齿条式的转向齿轮上。转向轴的转动带动小齿轮旋转，再通过小齿轮的锯齿传递到齿条。接着，齿条开始左右横向运动，连接在齿条前端的横拉杆 也开始横向移动。横拉杆的横向移动带动轮毂 （车轴）上的节臂 运动，轮毂随节臂的运动开始转动，从而改变前轮的方向。

这样一来，行驶中的汽车就开始转向了。这样看来，转向系统并没有那么复杂。

4.1.2 动力转向系统借助助力实现轻松转向

如果只考虑汽车转向，那只用刚才介绍的转向系统就足够了。但如果你想行驶得更加轻松，就要使用动力转向系统 。它通过给转向齿轮增加助力，帮助汽车轻松转向，即使是在驾驶员以很小的腕力转动方向盘的情况下也是如此。动力转向系统与之前介绍的普通的转向系统，在结构上是相同的。

动力转向系统有三种类型，分别是：①液压式，②电子液压式，③电动式。①液压式是利用发动机的旋转力带动液压泵工作，将生成的液压施加到转向齿轮上成为助力。由于它使用的是发动机产生的本应用于行驶的力，也就意味着会增加油耗。因此，接下来将要介绍的电子液压式和电动式就逐渐取代了液压式，成为动力转向系统的主流。

蓄电池产生的电转动起动机，②电子液压式正是借助起动机而不是发动机的旋转力来带动液压泵工作的。除此之外，它与液压式的原理相同，将生成的液压施加到转向齿轮上成为助力。

③电动式是利用蓄电池产生的电直接将转动的起动机和转向轴及齿条相啮合，通过增加起动机的旋转力辅助转向齿轮的转动。

4.2 借助轮胎的变形和弯曲转向

4.2.1 轮胎具有柔软性，可以改变形状

汽车通过改变前轮的方向开始转向。此时为了使汽车顺畅、平稳地转向，还要做些努力。差速器和悬架也发挥了重要作用，但在介绍这些装置之前，我想先讲解一下轮胎。

轮胎由橡胶和纤维等具有柔软性的材料制成，而柔软性在转向时意义重大。借助转向系统改变方向的前轮轮胎，由于其柔软性会有些许的变形。这种“变形”就是汽车转向时的点睛之笔。

轮胎由橡胶和纤维制成，中空（照片4.1）。中空部分充满了高压空气，以小型汽车的轮胎为例，其中空部分空气的压力可以达到我们所生活的地面气压的2～2.5倍。轮胎的表面膨胀起来，用手指按压时也会觉得相当坚硬。但另一方面，轮胎也有柔软性。承载着1吨多重的汽车的轮胎，也会因负重而变形。这种变形就体现了轮胎的柔软性。正是因为具备了柔软性，轮胎才能在转向时改变形状。

没有轮胎的变形和弯曲，汽车就不能自由转向。让我们来回想一下19世纪汽车刚刚诞生时的景象。当时的汽车使用的车轮不同于现在，而是保留着马车车轮的特点，在木质圆环外包裹上薄铁皮的车轮。虽然只要提高发动机的性能，使用这种车轮也能加速，但想要停车时却迟迟无法减速。大家都知道，如果不减速，汽车就无法顺利转向。因此当时的汽车时速至多只有几十公里，与马车的速度相差无几。直到19世纪末诞生了充满空气的轮胎，汽车的速度才有所提升。因此，在轮胎出现之前，汽车都无法安全地急刹车，也不能快速转向。



照片4.1 轮胎的剖面图

中空。照片由普利司通轮胎公司提供。

4.2.2 充分利用轮胎的四边形触地面

让我们来详细了解一下轮胎的变形和弯曲，看看它们是怎么帮助汽车顺利转向的。首先看一下轮胎的变形。

仔细观察一下处于静止状态的汽车轮胎就会发现，与地面接触的部分变形而且有些压瘪了（图4.2）。即使在汽车发动时，变形也依然存在。

轮胎与道路的触地面因变形而接近于四边形。实际上轮胎生产商们也做过实验，他们将路面的一部分换成玻璃，以便从玻璃下方观察到轮胎碾过时的情况，结果确实发现轮胎的触地面呈四边形。

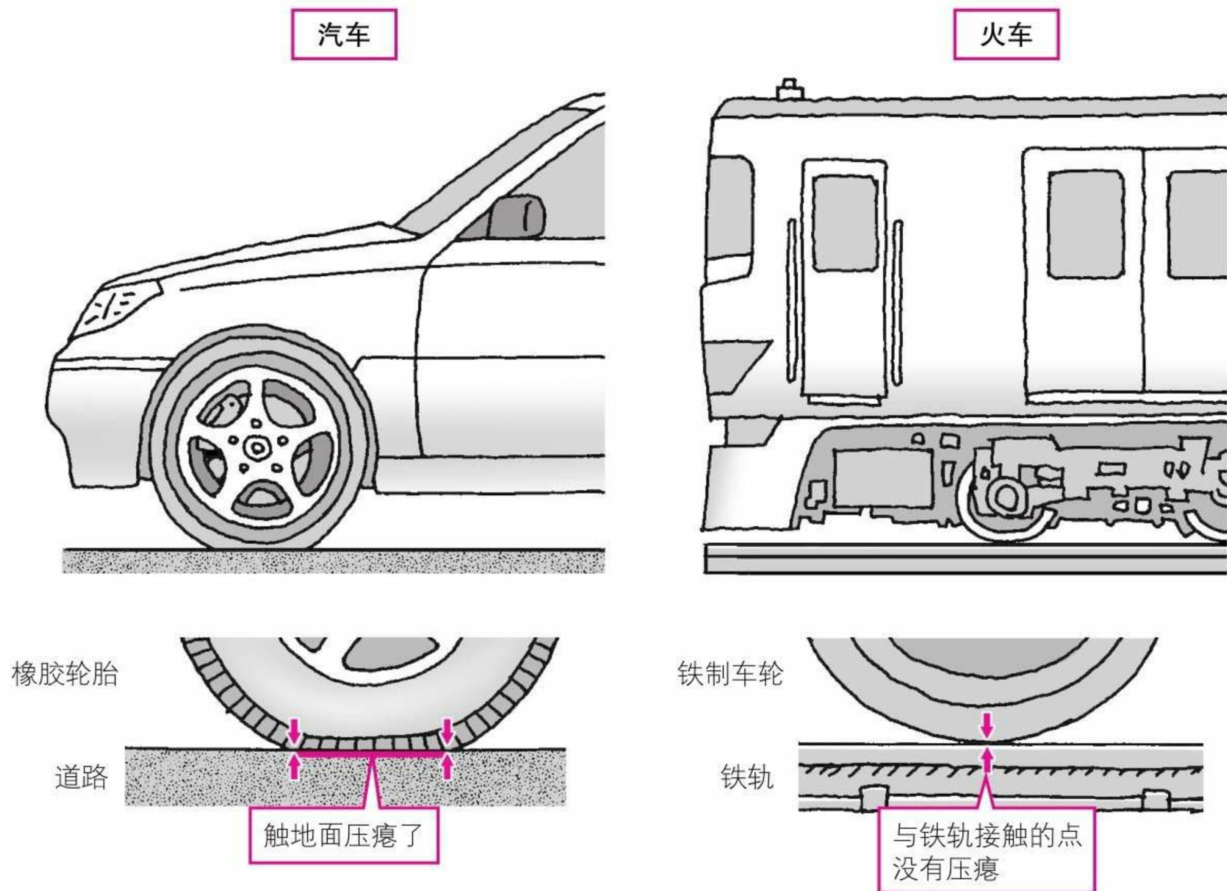


图4.2 汽车的轮胎和火车的车轮

轮胎的触地面变形形成面，而火车的车轮与铁轨的接触部分是点。

小型汽车轮胎触地面上的四边形大致相当于明信片或手掌大小（图4.3）。由橡胶和纤维等柔软材料制成的轮胎，因其柔软性在车体的重量压迫下变形，从而在轮胎和路面之间形成手掌大小的触地面。

火车的车轮是铁制的，因此在与铁轨的接触点上不会变形[14]。车轮与铁轨的接触部分横看是点，但从下往上看时就会发现是一条线。因此，从与路面的接触部分来看，轮胎呈现四边形，而铁制车轮则呈一条线，这就是两者的不同之处。

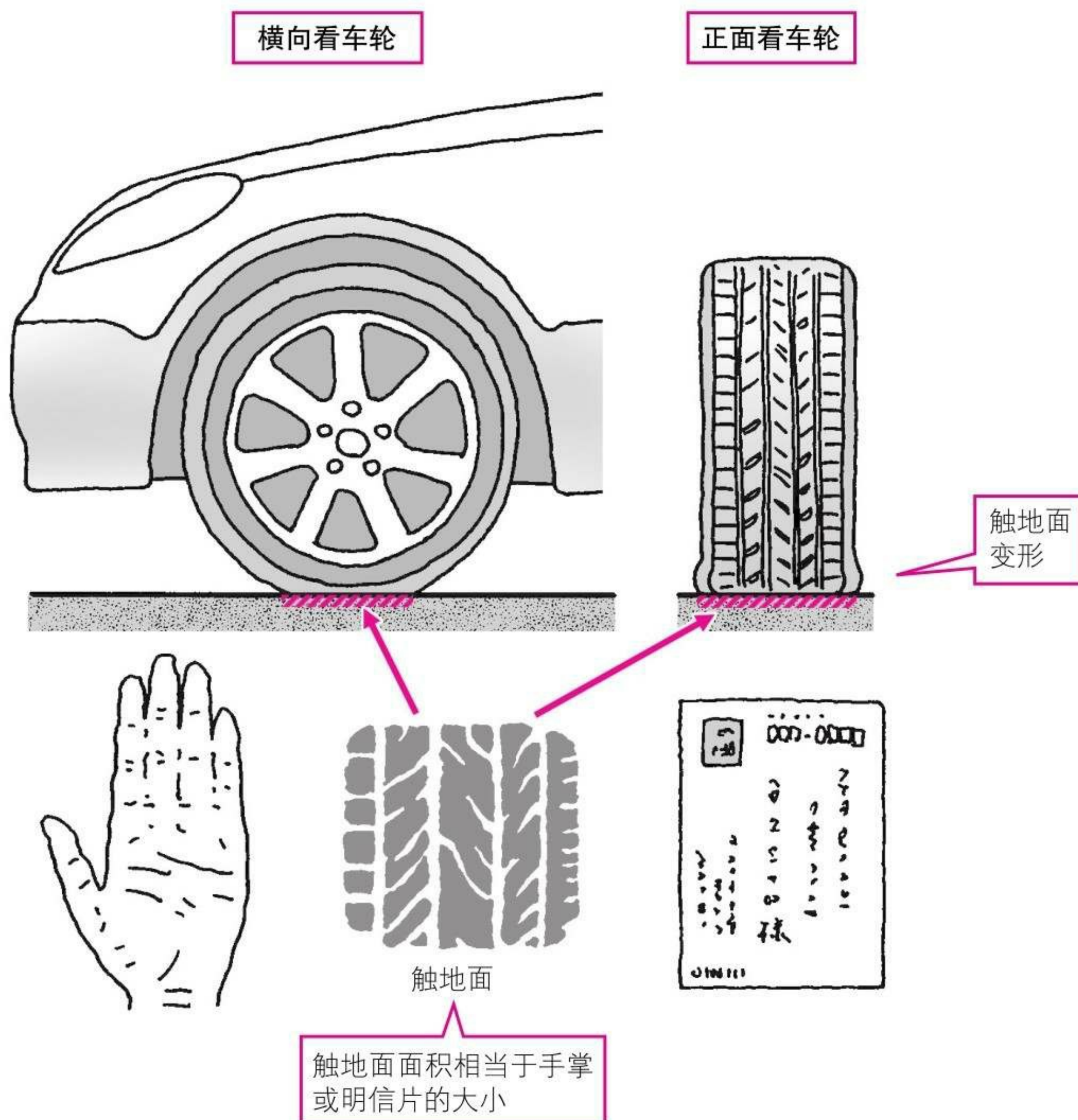


图4.3 轮胎的触地面面积相当于手掌或明信片的大小

与火车车轮与铁轨相接形成的“线”相比，轮胎的“面”更能保证汽车高速行驶、安全转向、顺利停车。

轮胎能够根据实际情况在很多方面充分利用触地面。例如当汽车直线行驶时，轮胎从触地面的前方与地面接触，向触地面的后方“驱赶”路面，从而使汽车前进。同时，为了不让汽车横向偏离，轮胎借助触地面的两边紧抓路面。当汽车转向时，轮胎借助触地面的外侧紧抓路面。这样看来，轮胎并不总是同时利用全部的四边形触地面，而是利用某一个

或某几个面，帮助汽车自由行驶。

如果以人们如何使用脚掌内侧为例解释这一状态，或许就更好理解了。无论是走路还是站立，都无需使用整个脚掌内侧，而是靠脚掌内侧的一部分站立或者走路。走路时也好，跑步时也好，都是通过脚后跟着地、用脚尖“驱赶”路面来前进。不经过长期训练是无法像芭蕾舞演员一样只用脚尖站立并能自由行走的。

火车的车轮与地面接触的部分不是面而是线，但因其是沿着轨道行驶，也就能够安全地前进、转向和停车。然而火车车轮一旦脱轨，其行驶就无法得到有效控制，将直接导致事故的发生。

4.2.3 轮胎弯曲，产生侧偏力

接下来我将解释轮胎的弯曲。大家或许会觉得，转动方向盘时会改变前轮的方向，汽车自然就会转向。当然，情况也确实如此。

但当汽车的速度达到时速100km时，驾驶员就无法仅靠改变前轮方向来实现汽车向既定方向的转向。如果不能抵抗离心力支撑不住汽车，就无法彻底转向，甚至会飞离路面。火车是由铁轨承担支撑作用的，而汽车没有铁轨，只能依靠轮胎的弯曲发挥支撑作用。

轮胎的弯曲发生在由于轮胎变形形成的四边形触地面上。举个常见的例子，当你把手掌压在桌子上，弯曲手腕改变手的方向时，会觉得手掌有扭歪感。这就类似于轮胎在触地面上产生的弯曲。

这种弯曲会在汽车转向时产生很大的力量，我们将这种力称为侧偏力（图4.4）。

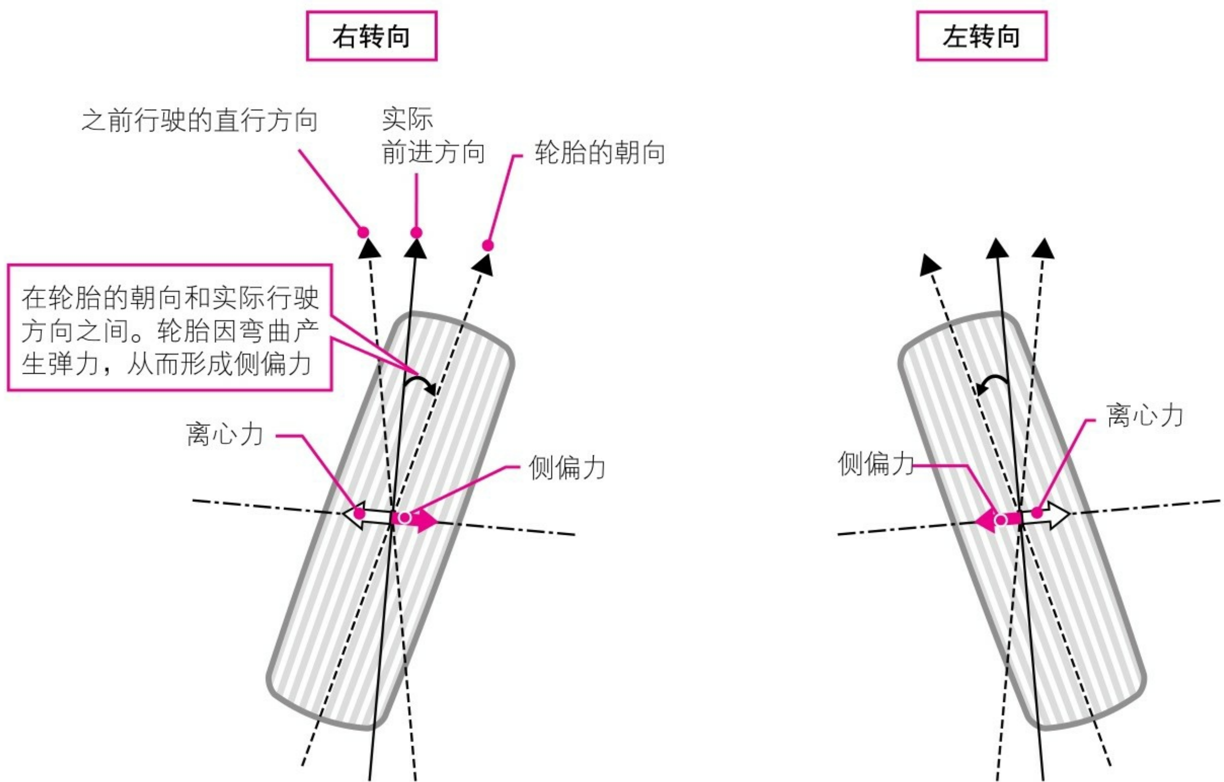


图4.4 轮胎的弯曲产生侧偏力

轮胎在转向方向和直行方向之间产生弯曲，这种弯曲生成了侧偏力。

汽车转向时，侧偏力用于抵抗离心力。当侧偏力小于离心力时，汽车就无法彻底转向。

转向时驾驶员转动方向盘以改变前轮方向，此时轮胎就会向着前轮的朝向改变路线。同时，之前一直在推动汽车直线行驶的力仍在发挥作用。轮胎受到直行的力和转向的力的相互作用，会向两者的中间方向移动。

实际上，此时的轮胎是在直行方向和转向方向之间产生了“弯曲”。之所以会弯曲，是因为轮胎的触地面因橡胶的抓地力紧贴着路面，就像把手掌压在桌子上一样。轮胎弯曲时会产生试图恢复原状的弹力，这种弹力进而成为侧偏力以抵抗离心力。

速度越慢，轮胎的弯曲程度越轻。当汽车缓慢行驶时离心力就不会发生作用了，这时只需改变轮胎方向就能实现汽车的转向。当汽车稍稍

加快速度在时速30km～40km的情况下转向时，弯曲程度也很轻，但也需要超过离心力的侧偏力，利用弯曲产生侧偏力支撑汽车。

随着速度的加快，离心力也越来越大。直行的力和转向的力越大，轮胎的弯曲程度也就越重，从而能够产生更大的侧偏力抵抗离心力。

正是因为轮胎的变形，触地面上的弯曲才能产生侧偏力。并且，轮胎能够变形和弯曲，也是因为轮胎是由橡胶和纤维制成且内部充满了空气。

4.3 轮胎的抓地力支撑汽车

4.3.1 没有抓地力就无法转向

在上一节中我讲到，汽车即使提速到时速100km也能转向，是因为轮胎的触地面弯曲，产生了侧偏力。汽车在高速公路等曲率半径（弯道半径）大的转弯处（即缓弯）能够安全转向，这没什么问题。但在山路等曲率半径小的转弯处（即急弯）也能在时速100km下转向就有些不现实了。汽车可能会因无法彻底转向而跌落悬崖。那这是为什么呢？

转弯越急，速度越快，离心力越大，因此在转向时就需要足够大的侧偏力来抵抗离心力。之前我讲过，侧偏力是因弯曲而产生的，但如果轮胎不紧抓路面，轮胎也就无法弯曲。我们把轮胎紧抓路面的力称为抓地力　　。抓地力越小，轮胎的弯曲程度就越小，也就意味着侧偏力越小。也就是说，为了产生抵抗离心力的侧偏力，必须加大抓地力。

然而抓地力也有极限。当离心力超过在抓地力限度内产生的侧偏力时，汽车就无法顺利转向。因此，除了转弯的急缓程度之外，汽车能否顺利转向也与轮胎的抓地力有关。

4.3.2 揭开抓地力的神秘面纱

之前为了介绍汽车转向的过程，我先讲解了转向系统、轮胎的结构以及因变形和弯曲产生的侧偏力。贸然提出轮胎的抓地力会影响这一过程的讲解，所以我就没有提及。

然而，汽车行驶、转向、停车的根本在于轮胎的抓地力，这些都是以轮胎紧抓路面为前提的。正是因为抓地力的存在，汽车才能依靠紧抓路面“作用力”的“反作用力”前进、转向、减速并停车。换句话说，如果没有抓地力，汽车就无法行驶、转向和停车。这是因为轮胎是汽车与路面的唯一触点，只有轮胎紧抓路面汽车才能行驶，并且汽车转向时轮胎的作用尤为重要。下面我就开始讲解轮胎的抓地力。

首先，什么是抓地力？之前我讲过，抓地力是轮胎紧抓路面的力。说得更具体一点，就是轮胎的橡胶牢牢抓住道路表面的力。抓地力产生于“橡胶的摩擦”、“轮胎的变形”和“橡胶的损耗”。

先从橡胶的摩擦说起吧。与铁制车轮或木制车轮不同，触摸轮胎的表面时，你会觉得有些黏。橡胶表面的黏性会和路面产生摩擦，生成紧抓路面的力。

抓地力也来自于因轮胎的弹力产生的变形。之前我讲过，轮胎的触地面会变形压瘪。轮胎正是借助这种变形紧抓路面并向后“驱赶”路面的。

气温越高，橡胶的黏性和弹力就越大，抓地力也随之增大。相反，气温越低，橡胶越硬，黏性和弹力也就越差，抓地力也越小。

抓地力还与轮胎的磨损有关。掰橡皮时橡皮会产生防止断裂的阻力。同样，轮胎的磨损就是紧贴路面的橡胶的损耗，此时发挥阻力就是抓地力。当然，轮胎橡胶的损耗是微乎其微的，因此在路上往往看不到散落的橡胶碎片。

如上所述，摩擦、变形和损耗三股力量综合起来才产生了抓地力。汽车转向时轮胎因抓地力而弯曲，从而产生侧偏力。且抓地力越大，与离心力相抵抗的侧偏力就越大，急转弯时也能快速转向。但是当离心力超出抓地力的极限时，汽车就会开始打滑，导致无法彻底转向。因此为了行驶安全，必须在考虑到汽车速度和转弯的急缓程度的同时，保证汽车在抓地力的限度内行驶。

4.3.3 轮胎的抓地力随路面状况发生变化

我们说轮胎的抓地力时，一般是以汽车在干燥的路面上行驶为前提的。但汽车并非只在干燥路面上行驶，路面状况改变时抓地力也会发生变化。

我们已经了解到，摩擦、变形和损耗三股力量综合起来才产生了轮胎的抓地力。其中影响较大的是摩擦和变形，两者会因路面状况的不同而变化。当给橡胶施加重量时，它会变形处于压瘪状态。这样一来，轮胎与路面更加贴合，摩擦变大，也就不容易打滑。我们穿的鞋，橡胶底比皮制底更防滑。这是因为橡胶有弹力，更容易贴合路面，摩擦也就更大，并且胖人的鞋底与路面更贴合。然而橡胶鞋底也不是完全防滑的。例如，跑步时突然停止，在下过雨的人行道上奔跑，以及寒冬的早晨走在结冰的路上时，即使是橡胶鞋底也会打滑。

轮胎也是如此。当汽车在下过雨的道路、没有经过铺砌的沙土路或者冰雪路等容易打滑的路上行驶时，如果速度不是远低于在干燥路面上的行驶速度，轮胎就很容易打滑。并且如果不在转向时减速，就无法彻底转向。之所以容易打滑，是因为轮胎抓地力限度变小了。

4.3.4 把抓地力分配给行驶和转向

我们从抓地力的角度再来考虑一下汽车为什么能在缓弯时快速转向，而在急弯时必须降低速度。

之前我讲过，轮胎的抓地力不只是在转向时发挥作用，而是与汽车的行驶、转向和停车都有关。抓地力存在极限，因此需要调整并决定抓地力的分配是用于行驶、转向，还是分给减速。

能够表示抓地力分配方法的是摩擦圆　，它表示占据了大部分抓地力的摩擦限度。虽然抓地力包含轮胎的摩擦、变形和损耗三大要素，但仅用表示摩擦限度的摩擦圆，就能显示出抓地力的整体倾向。

请看图4.5中左侧轮胎的摩擦圆，纵轴的上半部分展示了与汽车的

驱动力相关的抓地力，下半部分展示了与汽车的减速力有关的抓地力。横轴表示转向时抵抗离心力的抓地力。

当汽车直线行驶时，抓地力用于加速或减速，其大小程度可以直至纵轴与摩擦圆的上下交点。当汽车在即将达到极限向右转向时，可以将力增加到横轴与圆的右交点。但此时横轴上下方向的速度变成了0，汽车就走不动了。这当然是不现实的，因此在实际行驶中是不能把抓地力全都分配给抵抗离心力的力（侧偏力）的。

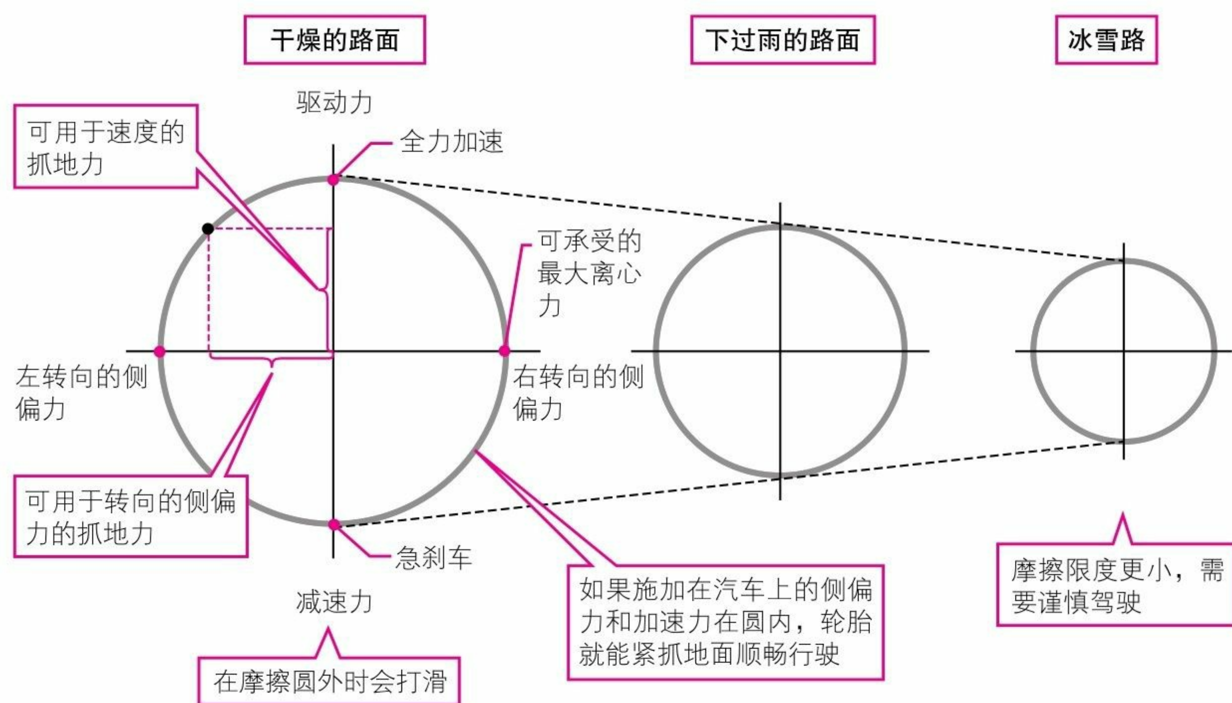


图4.5 轮胎的摩擦圆

表示轮胎的摩擦极限。路面状况的变化会引起摩擦圆大小的变化。

那么，既不在摩擦圆的横轴上也不在纵轴上是什么意思呢？我们假设圆周上45度倾斜处的黑点表示可以将抓地力同时用于行驶和转向的界限，它是指汽车在边转向边行驶时，抓地力分别用于速度和抵抗转向离心力的界限。通过决定靠近上半部分还是靠近左右部分，在行驶速度优先和抵抗转向离心力优先之间进行选择，以调整抓地力的分配。

高速行驶时，当靠近摩擦圆上半部分倾斜一些的位置时，抓地力优

先用于速度，抵抗离心力较大部分的就所剩无几了。因此，此时只能在离心力较小的缓弯处顺利转向。

当靠近圆的横方向时，抓地力优先用于抵抗离心力，此时汽车即使在离心力很大的急转弯处也能顺利转向。但由于分配给速度的力很小，因此汽车只能缓慢行驶。

但如果轮胎超出了摩擦圆，就很容易打滑，汽车就可能飞离路面。以上都是汽车在即将达到极限时利用抓地力的情况，而平时汽车都是在远离极限的圆内侧行驶的，因此轮胎打滑造成交通事故的情况少之又少。

但当路面状况发生变化时，轮胎就会容易打滑。如在下过雨的道路、未经铺砌的沙土路和冬天的冰雪路上行驶时，抓地力的极限就会变小，如图4.5中右侧的摩擦圆。如果此时汽车的行驶速度还与在干燥路面上的行驶速度相同，就会超出摩擦圆所示的抓地力的限度。因此在容易打滑的路面上，无论是加速还是转向都要慎重。

4.3.5 抓地力的作用方法在前轮和后轮上有所不同

之前讲解抓地力时，我并没有区分前轮和后轮。但实际上，抓地力在前轮和后轮上的作用方法是不同的。

为了使你容易理解汽车的基础知识，本书是以只将驱动力传递到后轮的后轮驱动车（FR）为例进行讲解的。在后轮驱动的汽车中，发动机的旋转被传递至后轮，驱动力也只在后轮轮胎上发挥作用。与前轮相比，后轮在摩擦圆上下方向上耗费的力更大。例如当汽车以接近抓地力极限的高速行驶时，如果驾驶员突然踩下加速踏板，将更大的驱动力传递至轮胎，后轮承受的力就会超出摩擦圆。在急加速等情况下，轮胎的空转就是这种状态。

当然了，后轮驱动车的前轮也会在摩擦圆的上下方向上耗费一定的力。这是因为前轮虽然只是在旋转，但它会因后轮的驱动力与车身一起

向前移动。正是因为向前的驱动力发挥作用，前轮才会在摩擦圆的上下方向上耗费力。

汽车加速时，后轮耗费了很大的驱动力，此时前轮上还残留着一部分抓地力，但后轮上的抓地力已经基本没有了。虽然速度不是很快，但由于加速时要耗费很大的驱动力，抓地力也就所剩无几了。

因此，当驾驶员在转向时突然大幅踩下加速踏板，会瞬间增大后轮的驱动力，导致后轮轮胎超出抓地力的极限横向打滑。此时汽车会因后轮的横向打滑像陀螺一样开始旋转，虽然不像无法彻底转向时那样会飞离路面，但最终也会导致汽车偏离道路。

4.3.6 前轮驱动和后轮驱动利用抓地力的方法

前轮驱动车（FF）和4轮驱动车（4WD）两种车型是给前轮追加驱动力，因此如何在摩擦圆中分配使用抓地力就变得更加复杂。

大部分汽车都是前轮驱动车。发动机的旋转力传递至前轮，由前轮接受驱动力驱动汽车前进。并且驾驶员能够通过操作方向盘改变前轮的方向，实现汽车的转向，后轮只跟随汽车行驶。

前轮在前轮驱动车中的作用要大于其在后轮驱动车中的作用。前轮驱动车中的前轮身兼数职，例如支撑汽车的重量，转向时改变方向，利用轮胎触地面的弯曲产生侧偏力，借助驱动力驱动汽车等。

读到这里你大概会担心：轮胎的抓地力是有限的，前轮驱动车的前轮能够承担这么多角色吗？它比起后轮驱动车会更快地超出抓地力极限，不就会打滑了吗？

在寻找答案之前，你可以先回想一下橡胶的特性。把橡胶底的鞋单独放在倾斜的木板上时，鞋会从某处滑下，而出乎意料的是当人穿着鞋站在同一块倾斜的木板上时就不会往下滑。这是因为给橡胶加重时会增加橡胶的贴合力，也就意味着抓地力增大了。

在前轮驱动车中，汽车前端的发动机周围聚集了加速器和差速器等

动力传动装置，这就给前轮轮胎施加了很大的重量。前轮轮胎的抓地力因此增大，即使增加了控制方向和驱动汽车的负担，也能够安全转向。

然而正如我在第2章介绍飞轮时讲过的那样，重物一旦开始运动就很难停止。这一基本原则也适用于轮胎的抓地力。

在前轮驱动车中，当承受着巨大重量的前轮轮胎超过了抓地力的极限开始打滑时，往往无法停止。因此前轮驱动车很容易因速度过快而无法正常行驶。所以，注意轮胎的抓地力极限，保证汽车在安全的速度内行驶是至关重要的。

那么4轮驱动车又是怎样的呢？在4轮驱动车中，发动机的旋转力被平均分配到前后轮。前轮驱动车的前轮承受着巨大负担，但在4轮驱动车中前轮的负担减轻了。由于4轮驱动车是同时借助前后轮胎保证汽车平稳前进的，因此也就能均衡分配轮胎的抓地力。

4轮驱动车之所以在易打滑的未经铺砌的道路上威力十足，就是因为驱动汽车的力不是作用在前轮或后轮的任意一方，而是能够利用四个轮子的轮胎抓地力。

目前的市售车中，绝大部分仍是前轮驱动车。这是因为将功能集中于前轮的汽车更容易生产，且易于提高汽车的便利性（如增大驾驶室空间等）。然而，前轮驱动车将功能集中于前轮，致使装置变得复杂，结构难以理解。本书旨在帮助你理解汽车的基础知识，因此是以将功能分散至前轮和后轮的后轮驱动车（FR）为例的。

4.3.7 如何增大轮胎的抓地力

轮胎的抓地力越大，越能安全快速地行驶和转向。那么，怎样才能增大轮胎的抓地力呢？

实际上很简单，只要使用黏性强、摩擦大、弹力大、易变性强的橡胶与路面接触就可以了。简单说来，就是使用柔软的、发黏的橡胶。摩擦大、黏性强的橡胶抵抗损耗的力也很大，因此能够增大抓地力。

并且，通过增大轮胎的触地面，相应地也能够增大产生抓地力的面积。比赛用的轮胎都很宽，就是为了增加触地面积。增大触地面，就能增大抵抗离心力的抓地力，也就能使汽车在速度快的情况下安全转向。触地面的面积横向扩展，相应地就能在转向时支撑住汽车。

卡车和公共汽车的轮胎没有那么宽，但直径很大。这是因为轮胎长长的触地面能够在前进方向上将驱动力稳定地传递到路面，它们才能在载满重物和人的情况下依然安全地前进和加速。

但所有的事物都利弊兼具。使用很小的力就能伸展的柔软橡胶，在达到伸展极限后就很容易磨损，从而缩短轮胎的寿命。

而且，宽度大和直径大的轮胎较重，很容易在凹凸不平的路面上上下颠簸，也就降低了乘坐的舒适度。在第2章介绍飞轮时我讲过，重物很难开始运动，但一旦开始就很难停止。较重的轮胎受凹凸路面的影响开始强烈颠簸后，其振动就很难停止了。

比赛用的宽轮胎由高价材料制成，质地轻薄。但它比市售轮胎贵几倍，且损耗很快，在比赛中用过一次就没法再用了。对于普通的小型汽车来说，轮胎生产商的任务就是不断研究轮胎的材料和结构，设计出软硬适度、尺寸不大但能产生强大抓地力的轮胎。

4.4 差速器用于调整左右转速

4.4.1 转向时里侧转速慢，外侧转速快

关于轮胎的讲解到这里就告一段落了。下面我想介绍一下作用于后轮驱动车后轮上的差速器装置[15]。

汽车转向时，后轮驱动车的后轮跟在能够改变方向的前轮后面，它无法像前轮一样变向至转向方向，通常是保持直线行驶。在这种情况下汽车仍能顺利转向，就是因为配备了差速器 装置。

如果说在汽车转向时最重要的装置是转向装置，那么差速器则是次重要的装置。假如没有差速器，驾驶员绕的弯就比预想的大，也就无法

顺利转向。

日语中把差速器称为差动装置　，但其含义很难解释。差动一词来自于“改变左右车轮的转速使其有所差别”这一功能。在汽车转向时，差速器用于改变左右车轮的转速，使里侧转速慢，外侧转速快。

在第3章中我讲过，差速器具有将发动机的旋转力转化为驱动力并均匀传递至左右车轮的功能。差速器的伟大之处就在于它能够担任两个角色。

4.4.2 四个伞齿轮吸收左右的转速差

接下来我将详细解释这一装置是如何改变左右转速的。这一部分有些复杂，如果你觉得难可以直接跳过不读。你只需记住：正是因为差速器上有差动的结构，汽车才能顺利转向，也能在转向的同时加速。

首先，大前提是左右驱动轮并不是由1根车轴连在一起的。差速器位于左右驱动轮之间，组合了几个齿轮，并将发动机的旋转力传递到左右轮胎。通过改变差速器上齿轮的啮合和组合，起到传递驱动力和差动的作用。

在第3章中我讲过，发动机的旋转力经由万向节传递至差速器（照片4.2）。万向节的前端有伞齿轮　，旋转力从伞齿轮传递到差速器的大齿轮——内齿圈 上（图4.6）。



照片4.2 差速器的一种

照片由加特可提供

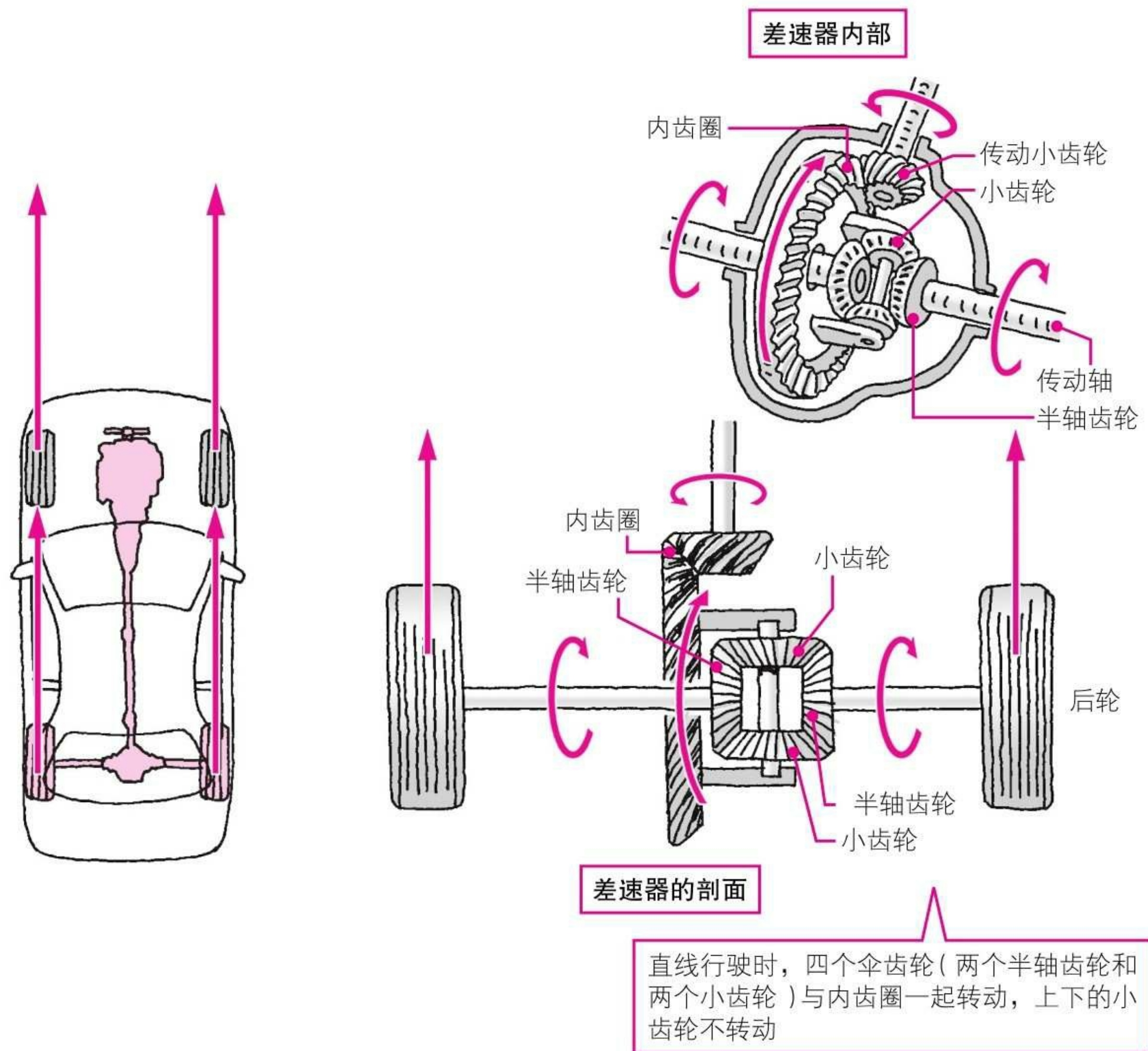


图4.6 直线行驶时差速器的状态

上下的小齿轮不转动

在差速器中，四个伞齿轮面对面互相啮合。其中，上下两个是小齿轮，左右两个是半轴齿轮。

当汽车直线行驶时，差速器内的整个齿轮组合（小齿轮和半轴齿轮）与内圈齿轮一起转动，将发动机的旋转力均匀传递到左右车轮。

当汽车开始转向时，在内齿圈上的齿轮中，左右的半轴齿轮的转速开始变化。这是因为转向时内侧轮胎的转速与外侧轮胎的转速不同。

驾驶员转动方向盘改变了前轮的方向，当汽车接近转角处时，后轮

不得不跟随前轮，左右轮胎一起沿着转角转动。此时内侧车轮和外侧车轮的转动半径不同，内侧车轮转小弯，外侧车轮转大弯，这就导致了左右车轮的转速是不同的。

左右车轮转速的不同传递到了与半轴齿轮垂直啮合的小齿轮上。正是因为左右（内外）车轮转速不同，才使得上下的小齿轮开始互相逆向转动（图4.7），或者说“被迫开始逆向转动”。这样一来，差速器就吸收了左右车轮的转速差。

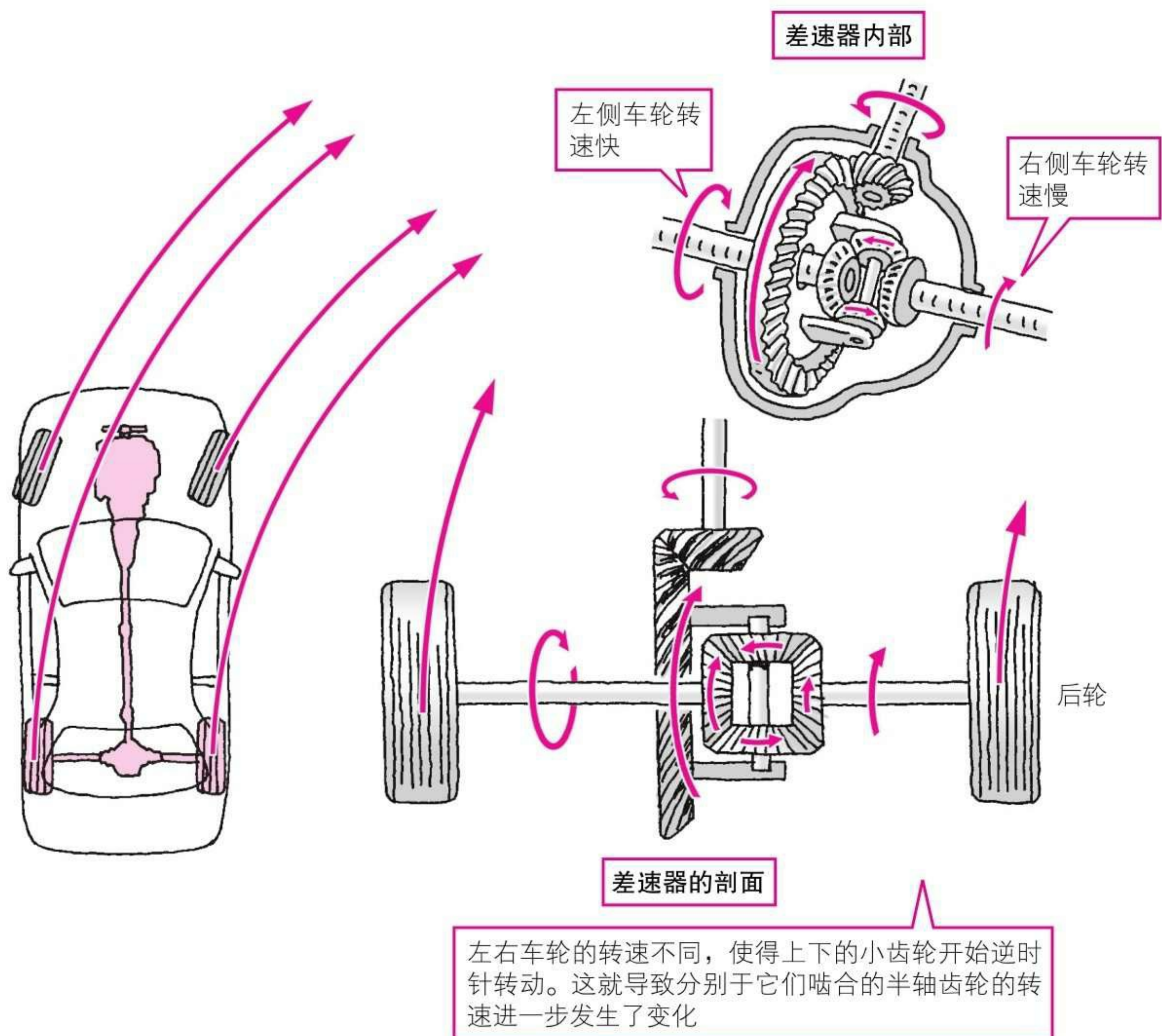


图4.7 右转向时差速器的状态

左右车轮的移动距离不同使得上下的小齿轮开始转动。右侧车轮转速慢，左侧车轮转速快。

小齿轮一边上下逆时针旋转（自转），一边与内齿圈一起公转。因为是在进行公转，所以发动机的旋转力，即驱动汽车前进的力仍能传递到左右车轮。当汽车直线行驶时，小齿轮不转动（自转），只公转。

虽然在转向时内外车轮的转速不同，但推动汽车前进的力仍能均匀地传递到左右车轮。这样一来，帮助汽车顺利转向的差动功能就实现了。你明白了吗？

如果没有差速器的差动功能，负责将驱动力传递到路面的后轮只能一直以左右相同的转速向前行驶。即使前轮改变了方向，后轮也会继续推动汽车直线行驶，使驾驶员在转向时绕一个比预想大很多的弯，也就无法顺利转向[16]。差速器的差速功能是由发明了汽车的卡尔•本茨想出来的。

4.5 利用悬架调整车体的倾斜度

4.5.1 转向时悬架受力，车身倾斜

之前我们已经了解了转向时所需的汽车的要素，接下来我想讲解一下转向时汽车车身的状态。众所周知，转向时汽车的车身倾斜，偏向转角的外侧，用专业术语表述就是车身在横滚 。那么汽车为什么会横滚呢？

这是因为汽车在转向时，侧偏力（之前介绍过）作用于轮胎，影响也波及到了汽车的悬架 （图4.8）。转向时离心力面向汽车外侧发挥作用，它能够产生使汽车的重心在中心徘徊的力（旋转力量），在其影响下悬架伸缩，车身向外侧横滚。

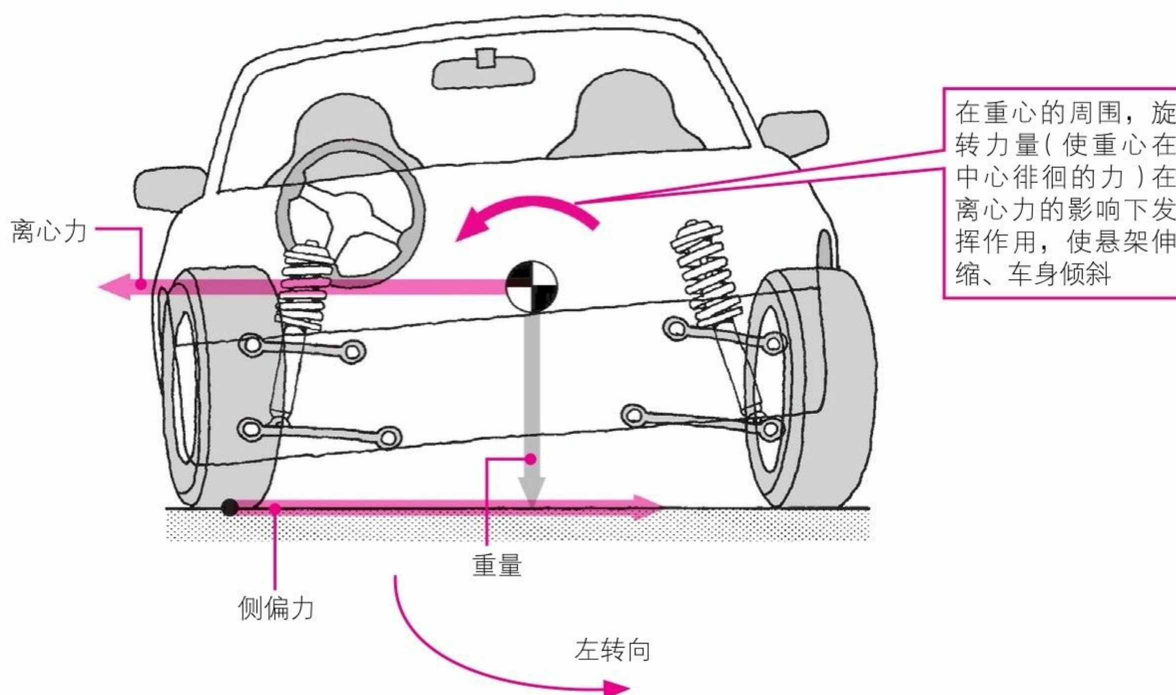


图4.8 转向时车身倾斜

旋转力量发生作用，致使悬架伸缩。

悬架位于轮胎和车身之间，能伸能缩。它能够缓和路面凹凸的影响，提高汽车的乘坐舒适度。suspension翻译成中文是悬架装置 ，其实这个名字反而不好理解。

稍微离点题，说一下没有悬架的汽车。没有安装悬架的汽车就像游乐园里的玩具汽车，是最简单、最原始的汽车。玩具汽车具备发动机、动力传动系、转向系统、作为骨骼的车架（相当于车身）、轮胎和制动器，也能行驶、转向和停车。没有悬架，汽车也能跑。

但正是因为没有悬架，因路面凹凸引起的振动会通过车架或车身直接传递到乘客身上。乘坐玩具汽车时，乘客甚至会感到连眼球都在上下振动。

普通的自行车一般不会配备悬架，但近年来一些高价的自行车上也安装了悬架。你会发现，比起普通的自行车，配备了悬架的山地自行车乘坐舒适度更高。

同样，汽车安装了悬架，就能缓和由道路引起的振动，提高乘坐舒适度。在接下来的第5章中我还会详细讲解汽车的舒适性，这里就先跳过了。接下来，我想集中讲一下悬架的结构和它在转向时的状态。

4.5.2 利用弹簧、减震器和稳定器缓和振动

悬架由弹簧 、减震器 、稳定器 、悬架摆臂 和衬套 组成（图4.9）。其中，弹簧、减震器和稳定器负责在转向时调整车身的倾斜程度。

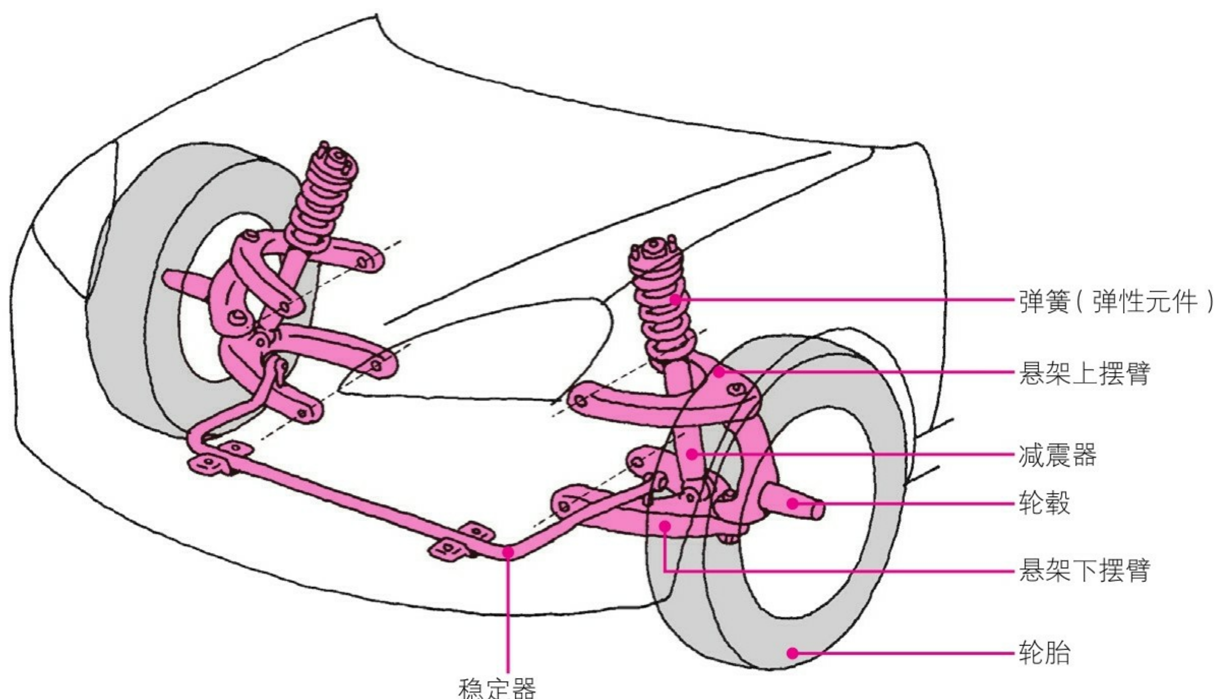


图4.9 悬架的结构

弹簧中除了有旋涡状的螺旋弹簧外，还有重叠了若干弹簧片的钢板弹簧。无论哪一种弹簧都有弹性，都能通过伸缩来缓和振动。由于日常生活中有很多如沙发坐垫等使用弹簧的物品，我们也就很容易理解弹簧的作用了。

弹簧虽能缓和振动，但要停止振动需要一定的时间。如果在这次振动停止前又施加第二次振动，振动就会变得不规则，或者成倍增加。这样一来，汽车就很难平稳行驶。实际驾驶时，你肯定觉得汽车不振动时比较平稳，能安心驾驶，汽车也不容易左摇右晃。

因此就需要用到边缓和来自路面的振动边迅速吸收振动的减震器（也叫缓冲器）。

在减震器内部，有加入油液的汽缸和开有窄小的孔隙的活塞。弹簧的振动带动活塞上下运动，其中的油液会穿过活塞的孔隙。孔隙窄小，产生阻力，就能迅速缓和弹簧的振动（图4.10）。

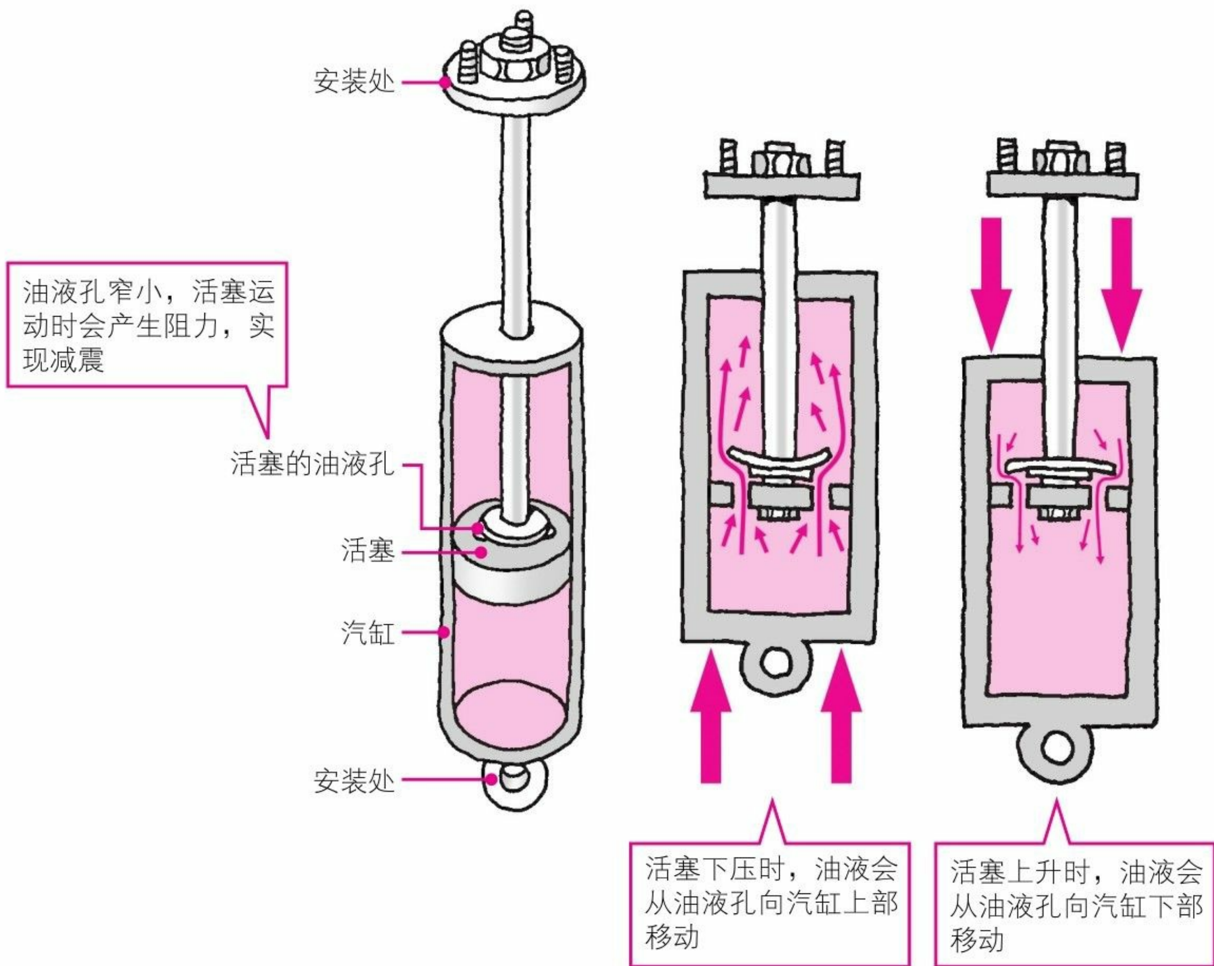


图4.10 减震器的结构

活塞下压时油液会从小孔喷出

然而，要平衡弹簧的硬度和减震器的振动吸收性（减震）是相当困难的。如果弹簧过硬，减震器的减震效果过强，就无法充分缓和道路凹凸的影响。相反地，如果弹簧过软，减震器的减震效果过弱，振动就会“经久不息”。

这一平衡在转向时就更难实现了。转向时，弹簧和减震器也有抑制车身倾斜（横滚）的作用。为抑制横滚所做的功越多，弹簧和减震器间的平衡就越复杂，调整起来也更加困难。这时就要用到稳定器 。

稳定器只有一个作用，就是在转向时抑制车身的倾斜。它仅由一根铁棒构成，两端连在左右悬架上（图4.11）。

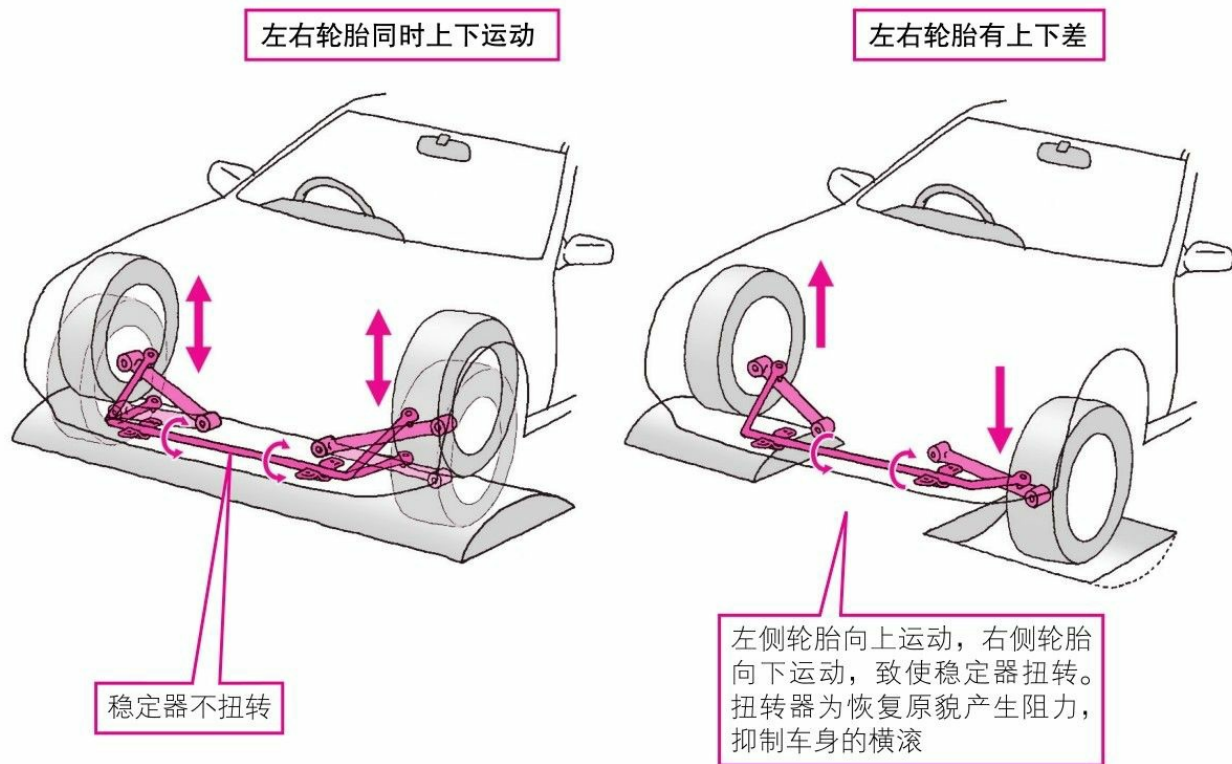


图4.11 稳定器的结构

当左右轮胎有上下差时，稳定器就会扭转，抑制车身的横滚。

当汽车直线行驶时，稳定器“保持沉默”。当左右轮胎越过路面的凹凸处时，稳定器只是随着左右悬架的运动上下运动。但当汽车开始转向、车身即将倾斜时，稳定器就登场了。在转弯处车身倾斜时，左右悬架上下反向运动。这是因为转弯处外侧的悬架在收缩，内侧的悬架在扩展。这样一来，稳定器这根铁棒就发生了扭转，借助其阻力抑制车身的横滚。

依靠稳定器，弹簧和减震器能够集中缓和因路面凹凸不平引起的振动。但实际上，弹簧、减震器和稳定器并没有明确的分工。汽车生产商们都试图实现它们的联合，使这三者共同发挥作用。

4.5.3 恰到好处的车身倾斜能够增大抓地力

为了能够顺利转向，在转弯处调整好车身的倾斜程度是十分重要的。恰到好处的车身倾斜会增大轮胎的抓地力，使汽车易于转向。

车身在转角处倾斜，使得汽车的重量偏向里侧的轮胎。因为此时汽车的重量在向里偏移，所以我们称之为负重转移 。

与此相同，人在倾斜身体的时候体重也会向倾斜的方向偏移。对于此时的汽车来说，里侧的轮胎承受了更多的车身重量，抓地力也就增大了。也就是说，由于承受了更多的车身重量，里侧的轮胎更能够紧抓地面、支撑汽车。之前我讲过，与只把橡胶底的鞋单独放在斜坡上相比，人穿上鞋、给鞋施加体重后更不容易打滑。两者同理。

虽说如此，但车身也不能过度倾斜。这是因为车身的过度倾斜可能会使外侧的轮胎悬起来。看到这里，可能你就会纳闷，如果会发生这样的情况，那汽车的其他轮子都有什么作用呢？为什么会有四个轮子呢？

外侧的轮胎会悬起，这是因为当车身过度倾斜时，里侧的轮胎会产生很大的变形。轮胎一变形，车身重量就仅仅集中在了轮胎触地面的外围，使得轮胎的触地面发生偏移，面积变小。触地面积越小，抓地力也就越小，即轮胎不再能够紧抓地面。人的脚也是一样，利用脚腕用整个脚掌支撑身体时，力量更强大。

4.5.4 转向时轮胎依然直立

你可以想象一下，车身在转角处横滚时，轮胎处于怎样的状态呢？你是不是觉得它们也在和车身一起倾斜呢？

转向时如果轮胎倾斜，其触地面也会发生偏移，使得轮胎与路面的接触面积变小。这样一来，抓地力减小，轮胎抵抗离心力、支撑汽车的力量也会减弱。而为了能够快速安全地转向，我们都不希望抓地力减小。因此最理想的状态就是，转向时仅汽车车身倾斜，而轮胎仍垂直于路面。尤其是希望里侧的轮胎保持垂直状态，因为在转弯处车身横滚时，里侧轮胎承受了很大的负担。

悬架摆臂　就实现了我们的愿望。它由铁棒和铁柱组成，连接车身和轮胎。最近还出现了使用比铁轻的铝等材料制成的悬架摆臂。

悬架摆臂有多种配置方式，这里我就以由上下两根铁棒支撑的双叉式　　为例，介绍转向时轮胎仍能直立的原理。这是因为双叉式分工明确，易于理解悬架的原理。此外还有连杆支柱式和多连杆式。

在装有轮胎的轮毂（车轴）上，上下各有一个悬架摆臂（图4.12）。仔细观察双叉式就会发现，其上下摆臂的长度不同。当车身倾斜时，正是这对长度不同的上下摆臂使轮胎直立。

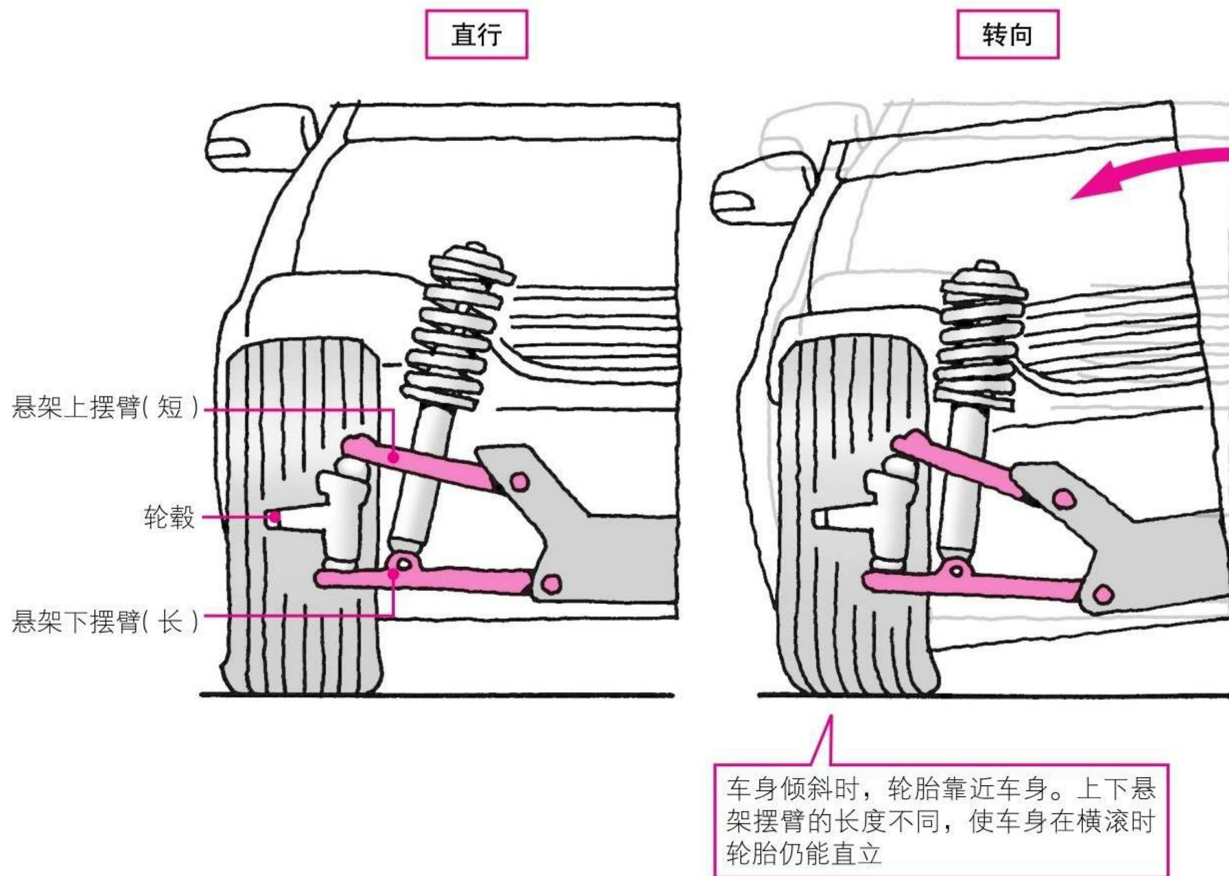


图4.12 悬架摆臂与横滚的关系

上下悬架摆臂的长度不同，使车身在横滚时轮胎仍能直立。

你可以以悬架的运动为中心，考虑一下汽车车身向里侧倾斜的状态。当车身倾斜时，里侧的轮胎靠近车身，而外侧的轮胎远离车身。如果换个视角从悬架看的话，就会发现里侧的轮胎向上移动，而外侧的轮胎向下移动。

轮胎的上下移动进一步加大了上下悬架摆臂的长度差。由于上下摆臂的转动轨迹不同，装有轮胎的轮毂角度也就不同。

*